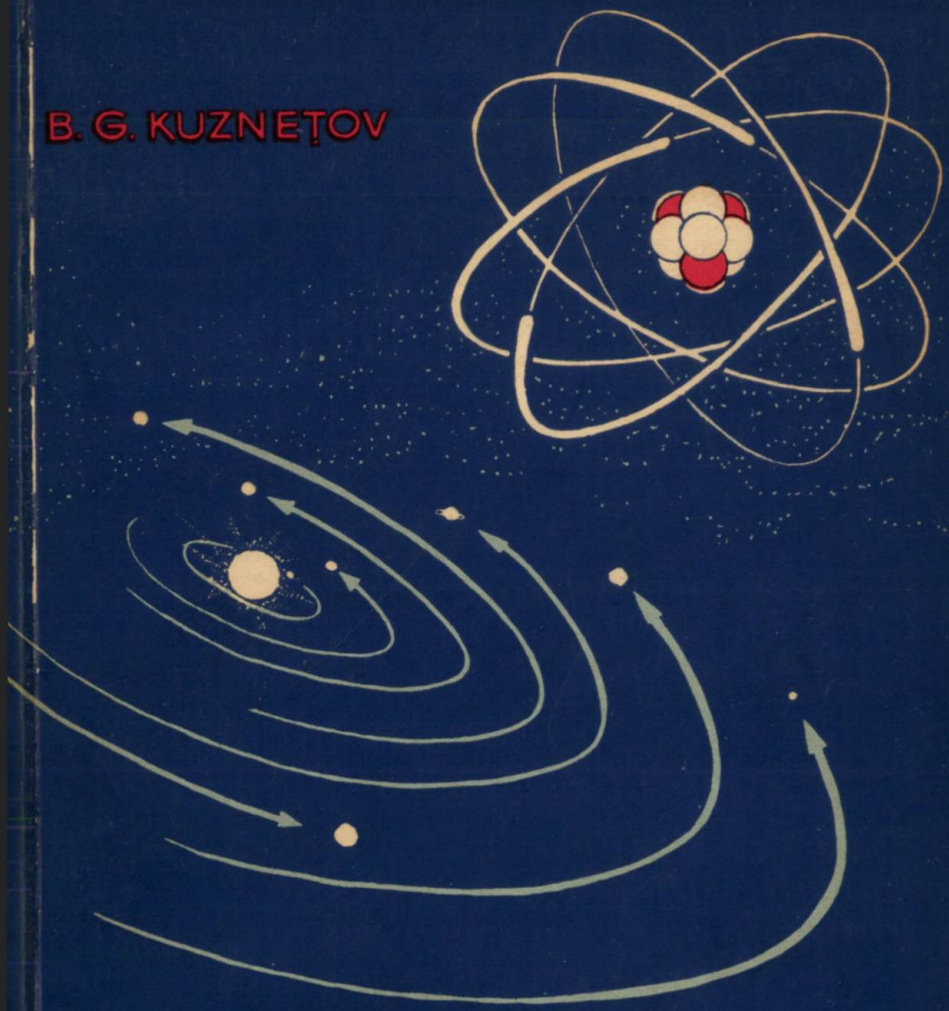
B. G. KUZNEȚOV



EVOLUȚIA IMAGINII ȘTIINȚIFICE A LUMII

EVOLUȚIA IMAGINII ȘTIINȚIFICE A LUMII

5
K 96

B. G. KUZNEȚOV

EVOLUȚIA IMAGINII ȘTIINȚIFICE A LUMII

BIBLIOTECA „GHEORGHE LAZĂR" — București
L. 40359
VERIFICAT

EDITURA ȘTIINȚIFICĂ
BUCUREȘTI 1962

Traducere de
E. FRIEDLÄNDER
Coperta
ARH. R. CRĂINICEANU

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
Институт Истории Естествознания и Техники

Б. Г. КУЗНЕЦОВ

ЭВОЛЮЦИЯ КАРТИНЫ МИРА

Издательство Академии Наук СССР
Москва — 1961

INTRODUCERE

În această carte, evoluția principiilor științelor naturii este cercetată în lumina fizicii moderne. Acest punct de vedere ar putea, eventual, să trezească nedumerire: în teoriile fizice actuale este greu să găsim poziții stabile, de pe care să putem aprecia, într-un mod mai mult sau mai puțin univoc, evoluția gîndirii științifice. Niciodată încă nu a existat în fizică un asemenea presentiment general al unor transformări radicale iminente, niciodată încă nu a existat o atît de largă aplicare a metodelor „pe credit", în speranța că viitoarea teorie va oferi fundamentul necesar pentru aceste metode. Este oare cazul să facem uz de un astfel de credit, într-o analiză istorică; să luăm ca punct de plecare concepții fizice conturate, dar încă departe de a fi stabilite, pentru a aprecia ideile științifice ale trecutului?

Socotim că această tratare este legitimă, că tendințele fizicii actuale prezintă un anumit interes pentru analiza trecutului. Cîteodată sînt suficiente doar posibilitățile principiale ale unor concepții noi asupra spațiului, timpului, substanței și mișcării, pentru a ajunge la noi aprecieri istorice. Dar lucrurile nu se limitează la atît. Sîntem îndreptățiți să credem că analiza istorică va ușura căutările actuale, adică ea va căpăta, într-o anumită măsură, o valoare euristică. Fizica actuală caută căi de sinteză pentru unele idei fundamentale care există de mult, încă din perioada apariției imaginii științifice a lumii (este vorba, mai ales, despre ideile relativității, omogenității și continuității spațiului și timpului).

În 1905, Einstein a pus la baza imaginii științifice a lumii un principiu, potrivit căruia, mișcarea uniformă și rectilinie a unui corp nu este însoțită de o modificare a desfășurării proceselor fizice (inclusiv a celor optice) din corpul respectiv în mișcare: lumina se propagă cu aceeași viteză în corpuri care, unul în raport cu altul, se mișcă fără accelerație. Mișcarea rectilinie și uniformă a unui corp nu constă într-o variație a desfășurării proceselor fizice din acest corp, ci doar într-o variație a distanțelor dintre el și alte corpuri (sisteme de referință). Sistemele de referință care se mișcă fără accelerație, unul în raport cu altul, sînt echivalente, adică legile fizice au aceeași expresie în toate sistemele de acest fel. Principiul acesta (extins, în anul 1916, la mișcările accelerate) va fi expus mai amănunțit în capitolul al XVI-lea al cărții de față. Alte capitole vor arăta legătura lui istorică cu principiul relativității clasice al lui Galilei-Newton, potrivit căruia procesele *mecanice* decurg în același mod în sisteme care se mișcă fără accelerație. Mergînd mai departe în trecut, vom întîlni prototipuri ale principiului relativității și mai vechi, antice. Ele ne vor convinge că principiul relativității, considerat în ansamblul său, în întreaga sa evoluție istorică, este legat de reprezentarea continuității mișcării unei particule care rămîne identică cu ea însăși, în timp ce poziția ei spațială variază.

Legile ce guvernează mișcarea unei astfel de particule se enunță ca legi diferențiale, care pun în legătură comportarea ei într-un punct dat și la un moment dat cu comportarea ei în fiecare moment ulterior. Dacă ni se dă legea care definește comportarea unei particule sau a unui sistem de particule în fiecare moment ulterior, și dacă această lege acționează neîntrerupt, putem garanta că particula în mișcare este identică cu ea însăși.

Mecanica cuantică (va fi vorba despre ea în capitolul al XVII-lea al cărții), apărută în preajma anului 1925, a limitat, întrucîtva, ideea identității particulei cu ea însăși, relevînd că starea particulei la un moment dat determină, în conformitate cu o anumită lege diferențială, starea ei în fiecare moment ulterior. În cazul mișcării unei particule elementare, este definită, în general, cu orice precizie dorită, în mod univoc, numai

probabilitatea ca particula să se afle în fiecare punct al traiectoriei ei. Viteza particulei în fiecare punct nu poate fi nici ea determinată, în orice condiții, cu o precizie nelimitată.

Aceasta este o etapă importantă a dezvoltării principiului cauzalității. Încă în secolul al XIX-lea a pătruns în știință ideea legilor statistice ale naturii. Legile termodinamicii (ne vom ocupa de ele în capitolele al XI-lea și al XII-lea) determină probabilitatea trecerii unui corp dintr-o stare în alta. Dacă într-o bară metalică temperatura unui capăt este mai înaltă decît a celuilalt, adică la un capăt al barei moleculele se mișcă în medie mai repede decît la celălalt, atunci, potrivit legilor termodinamicii, viteza medie a moleculelor se va egaliza cu timpul și temperatura va deveni aceeași la ambele capete ale barei. Dar acesta nu este decît un rezultat probabil al mișcării moleculelor și, practic, el devine cert cînd avem de-a face cu un mare număr de molecule. Comportarea unei singure molecule sau, să zicem, a unor zeci de molecule nu este determinată de legile termodinamicii. Aici nu este loc pentru probabilități, pentru valori medii, pentru noțiunea de temperatură, deoarece comportarea celulelor la acest nivel este dată de legile mecanicii, ea rezultînd din imaginea ciocnirilor individuale ale moleculelor. La rîndul lor, legile statistice ale termodinamicii, care predetermină trecerea consecutivă a ansamblelor statistice în stări din ce în ce mai probabile, sînt ireductibile la legile mecanicii, care guvernează comportarea unor molecule individuale. În felul acesta ajungem la reprezentarea de *legi macroscopice*, care definesc comportarea ansamblelor statistice mari, și la reprezentarea de *legi microscopice*, care se referă la indivizi izolați, în cazul de față la molecule individuale. În mod similar, legile selecției naturale predetermină doar probabilitatea ca anumite organisme individuale să aibă o soartă sau alta, această probabilitate realizîndu-se cu o precizie tot mai mare, cînd trecem la mulțimi mari de indivizi. Legile statistice ale selecției naturale, care stabilesc cu certitudine soarta unei specii, nu pot defini însă precis soarta unui organism individual.

Dar aceste legi statistice macroscopice ale fizicii și biologiei nu zdruncină încă temelia temeliilor mecanicii:

reprezentările despre mișcarea total și perfect determinată în fiecare moment a unei particule individuale. În mecanica cuantică se supune unor legi statistice însăși mișcarea unei particule individuale: starea dată a unei particule determină, dacă este dată legea de mișcare, numai probabilitatea unor anumite stări ulterioare. Prin aceasta, criteriul fundamental al identității cu sine a particulei este valabil numai la domeniile macroscopice. În intervale de timp foarte mici și la distanțe foarte mici nu mai putem urmări cu precizie deplină comportarea particulei și nu putem garanta că avem în față aceeași particulă, identică cu sine. O îndepărtare și mai radicală de la imaginea particulei identice cu ea însăși se constată în teoriile cuantice relativiste, adică în teoriile care iau ca punct de plecare principiile relativității și principiile mecanicii cuantice. Reunirea acestor principii a condus la noțiunea de transmutație a particulelor elementare, adică de transformare a unei particule de un tip într-o particulă de alt tip. Îmbinarea principiului relativității cu principiile mecanicii cuantice s-a lovit însă de dificultăți considerabile. Cea mai serioasă dificultate întîlnită în construirea unei teorii cuantice relativiste constă în apariția unor valori infinite ale energiei și masei particulelor. Pentru a evita astfel de concluzii absurde din punct de vedere fizic, este nevoie, după toate probabilitățile, de o renunțare și mai radicală la noțiunile clasice cu ajutorul cărora se descrie mișcarea continuă a unei particule identice cu ea însăși. Există un mare număr de încercări de a crea o teorie relativistă necontradictorie a microcosmosului (care nu conduce la valori infinite ale energiei și masei particulelor). Printre aceste încercări, un rol esențial îl are ipoteza distanțelor elementare, indivizibile, și a intervalelor de timp elementare, adică ipoteza spațiului discret și a timpului discret. Această ipoteză își are izvoarele în adîncurile istoriei, în timpurile antichității.

Printre noile concepții fizice întîlnim teoria lui Heisenberg, propusă după 1950, în care diversele particule elementare sînt considerate drept stări ale unei substanțe unice, ale unui substrat unic. Această substanță interacționează cu ea însăși, iar ca rezultat al acestei „autoacțiuni" sînt generate stările menționate, adică particulele elementare. După opinia mai multor fizicieni,

ideea lui Heisenberg nu o rupe destul de radical cu reprezentările „normale" obișnuite, sau, cum s-a exprimat Niels Bohr, ea „este insuficient de nebună". Noua teorie generală a particulelor elementare va fi, fără îndoială, „nebună" în sensul că ea se va deosebi radical de concepțiile clasice și de cele actuale. Poate însă că ea nu va fi atît de „nebună", ba chiar, relativ, simplă, ușor accesibilă și reprezentabilă intuitiv, dacă nu va fi comparată cu teoriile clasice și cu cele moderne, ci cu concepțiile științifice luate în dezvoltarea lor de-a lungul unui interval de timp mare, adică dacă va fi comparată cu știința într-o „reprezentare cuadridimensională", cu știința considerată nu numai la un moment dat, ci în variația ei de-a lungul timpului. În aceste condiții se generalizează și „se renormează" etalonul de teorie „normală".

Nu va fi, credem, o exagerare dacă vom spune, în prezent, că dezvoltarea viitoare a științei nu mai este în funcție doar de starea ei în momentul de față, ci rezultă din sinteza și din generalizarea „cuadridimensională" a științei în îndelungata ei dezvoltare istorică. Aceasta rezultă din caracterul radical al prefacerilor la care trebuie să ne așteptăm. Marile prefaceri din știință sînt legate, adeseori, de generalizarea cîte unui principiu existent în ea, de eliberarea lui de restricțiile impuse anterior, sau de renunțarea la anumite principii, luate chiar în sensul cel mai general și mai fundamental. În reprezentarea istorică, „cuadridimensională", o teorie științifică apare generalizată: pentru a recunoaște că o idee, care s-a dezvoltat în decursul veacurilor, este identică cu ea însăși, că este aceeași idee, trebuie să punem în evidență substratul ei cel mai general și mai fundamental, care s-a păstrat în toate modificările ei istorice. Confruntînd știința actuală cu astfel de idei generalizate, „cuadridimensionale", vom vedea cu multă claritate sensul autentic al radicalei lărgiri a principiilor și al radicalei renunțări la principiile fundamentale și generale ale imaginii fizice a lumii, la care asistăm astăzi.

Începînd cu secolul al XVII-lea, ne-a servit ca etalon de teorie „normală" imaginea mecanică, în accepția cea mai generală, a mișcării unor corpuri identice cu ele însele. Oricît ar fi limitat teoria relativității și me-

canica cuantică această imagine, ea rămîne și astăzi etalonul de teorie „normală". Istoria științei ne arată însă că acest etalon nu este imuabil: el s-a dezvoltat în decursul multor secole, apărînd paradoxal la timpul său, apoi lumea l-a acceptat sub presiunea imperioasă a experimentului, a observației și a aplicațiilor, dar, considerat într-o „reprezentare cuadridimensională", vedem că el și-a păstrat aporiile interioare și se prezintă destul de contradictoriu. Istoria științei pune în evidență, totodată, substratul fundamental al imaginii clasice a lumii, iar renunțarea la acesta va face teoria viitoare să devină „nebună".

Pentru fizica actuală joacă același rol și confruntarea ei cu dezvoltarea celorlalte ramuri ale științelor naturii.

Considerentele de mai sus îndreptățesc încercarea unei expuneri succinte a evoluției principiilor fundamentale ale teoriei naturii, acordînd atenție și precădere noțiunilor a căror reconsiderare și generalizare se situează în centrul gîndirii științifice contemporane. Acestea sînt: noțiunea de identitate cu el însuși a unui corp în mișcare, noțiunile de omogenitate a spațiului și a timpului și de relativitate a mișcării, noțiunile de continuitate și discontinuitate a spațiului, a timpului și a mișcării.

CAPITOLUL I

GENEZA IMAGINII ȘTIINȚIFICE A LUMII

Cu cîteva milenii înaintea erei noastre, în civilizațiile fluviale ale Orientului, au apărut și au fost fixate în cele mai vechi documente scrise unele reprezentări cauzale asupra naturii. Din această perioadă, s-a dezvoltat succesiv și ideea generală a unui Univers în care toate fenomenele sînt legate într-un lanț unic de cauze și efecte. Mai tîrziu, această idee a fost concretizată (și limitată!) în concepția cauzalității mecanice. Dezvoltarea unei vaste concepții cauzale asupra lumii și pregătirea concepției mai înguste, însă considerabil mai detaliate, mai precise și mai clare a cauzalității mecanice formează conținutul principal al istoriei studiului naturii în antichitate și în evul mediu.

Istoria științei în țările Orientului antic — Egiptul, Babilonia, China, India și alte civilizații fluviale ale antichității — ne permite să dăm un răspuns la problema fundamentală referitoare la geneza științei: problema deosebirilor dintre reprezentările științifice, în forma lor inițială și credințele animiste și religioase, pe de o parte, și observațiile empirice nemijlocite, pe de altă parte. Primele se deosebesc de cele din urmă prin explicarea fenomenelor naturii în virtutea unor legi proprii ale acesteia, iar cele din urmă, față de primele, prin sistematizarea constatărilor cauzale elementare, prin prezența unor noțiuni relativ abstracte, a tendinței către un anumit tablou unitar care să îmbrățișeze toate conexiunile cauzale parțiale. Cît timp este vorba numai

despre Orientul antic, putem vorbi doar despre tendințe, deoarece o imagine științifică unitară a lumii a fost creată abia în perioada antichității clasice. Egiptul, Babilonia, China și India veche au cunoscut conexiuni cauzale concrete ale fenomenelor, au folosit anumite noțiuni generalizate — nu numai calitative, ci și cantitative — s-au apropiat de un tablou cauzal relativ constituit, care explica succesiunea zi-noapte, succesiunea anotimpurilor, unele fenomene meteorologice. În țările Orientului antic au fost enunțate idei referitoare la o ordine cauzală naturală în Univers. Cînd grecii — care nu mai erau purtătorii unei civilizații fluviale, ci mediteraneene — au avut ocazia să cunoască reprezentările științifice ale Egiptului și ale țărilor civilizate din Asia, completîndu-le cu date astronomice, geografice și biologice, rezultate din generalizarea propriei lor experiențe din domeniul agriculturii, al meșteșugurilor, construcțiilor și al navigației, au apărut în coloniile ioniene primele concepții unitare asupra lumii, ca un întreg opus cosmologiei și cosmogoniei religioase — mitologice.

Procesul principal al dezvoltării științei în țările Orientului antic a constat în apropierea treptată a constatărilor cauzale parțiale, care decurgeau direct din experiența producției, de ideile generale ale determinării și ordinii naturale în întreaga natură. Acest proces nu a fost dus pînă la capăt; pentru desăvîrșirea lui era nevoie de o sferă mai vastă a experienței practice, decît cea existentă în civilizațiile fluviale. Totuși procesul a mers departe.

Punctul său de plecare a constat în apariția unor noțiuni relativ abstracte. Putem înțelege mai clar această apariție, recurgînd la datele etnografiei și ale lingvisticii. Laponii au 20 de denumiri pentru viață și 41 pentru zăpadă. Un trib din Africa de Sud are nume diferite pentru diversele tipuri de ploaie. Bakairii din America de Sud nu cunosc noțiunea generală de „animal". Dezvoltarea creșterii vitelor și a agriculturii împreună cu generalizarea observațiilor primitive duc la constatări tot mai generale referitoare la legăturile dintre fenomenele naturii. Agricultorul nu ajunge numai la noțiunea generală de „ploaie", dar el observă totodată dependența perioadelor de ploaie de mișcarea

corpurilor cereşti, precum şi dependenţa de ploi a recoltelor. Observaţiile de acest gen se încadrează într-un fel de matrice cauzală, pe măsură ce forţele elementare ale naturii se îmbină cu procese controlate conştient şi sînt chiar uneori înlocuite de acestea. Agricultura irigată permite o reprezentare a legăturii dintre recoltă şi umezeală, nu numai ca un *post hoc* („după aceasta"), ci şi ca un *propter hoc* („de aceea").

În matricea cauzală a lui „de aceea" se încadrează domenii tot mai vaste de fenomene, iar conexiunea cauzală se enunţă cu ajutorul unor noţiuni tot mai generale, pe măsura lărgirii, a complicării şi a diferenţierii activităţii practice a omului. În civilizaţiile cele mai timpurii, apărute în Mesopotamia şi pe malul Nilului, cu trei—patru mii de ani înaintea erei noastre, această diferenţiere făcea abia primii paşi, care erau în legătură cu geneza orînduirii sclavagiste. Munca sclavilor a lărgit şi a complicat agricultura şi creşterea vitelor, le-a completat cu dezvoltarea meşteşugurilor, cu construcţia unor sisteme de irigaţie, a unor oraşe şi cetăţi. Diferenţierea producţiei, dezvoltarea tehnicii, sesizarea unor trăsături de asemănare, a unor deosebiri şi a unor conexiuni din natură, care scăpaseră înainte atenţiei, au fost însoţite de apariţia unor noţiuni abstracte, care puteau fi reprezentate iniţial prin simboluri relativ concrete, iar apoi prin altele, mai abstracte. A apărut scrierea. De aceea, popoarele ieşite din întunecimea preistoriei, desprinse din puzderia de triburi, ale căror nume au fost date uitării sau păstrate în tradiţii apocrife, popoarele care au trecut de la relaţiile gentilice la orînduirea sclavagistă nu numai că au elaborat primele noţiuni abstracte, că au legat cu ajutorul lor fenomenele naturii în înlănţuiri de cauze şi efecte, dar au şi notat datele ştiinţifice astfel constituite în texte cuneiforme, ieroglifice etc. În acest sens, ştiinţa este de aceeaşi vîrstă cu scrierea şi de aceeaşi vîrstă cu istoria.

În ştiinţa Orientului antic, gîndirea generalizatoare, care pleca de la conexiuni cauzale particulare, s-a ridicat la reprezentarea unei legităţi cauzale pentru ansamblul Universului. Dar expresia „s-a ridicat" nu este echivalentă cu încercări de a construi un sistem unitar al naturii. Astfel de încercări depăşeau limitele posibilului în civilizaţiile fluviale, ele nu aveau nici sufi-

ciente date concrete inițiale, nici suficiente noțiuni abstracte. Este vorba despre altceva. Gînditorii Orientului antic vorbeau despre posibilitatea principială a unei explicații cauzale a lumii. În Egipt și în Babilonia, puterea spirituală a templelor era prea severă și prea centralizată pentru ca astfel de tendințe ale gîndirii științifice—filozofice să capete o expresie clară și să constituie începutul unor școli individualizate. În schimb, astfel de școli au existat în China și în India. În China, în secolele al VI-lea, al V-lea î.e.n., sistemul filozofic numit daoism opune voinței divine o lege naturală *(dao)*, care determină mișcarea și transformarea corpurilor din natură. Dacă știm ce *dao* guvernează un anumit lucru, îl putem utiliza într-un scop determinat. În India, ideea unui Univers în care nu există nimic în afară de materie a fost opusă religiei încă cu un mileniu înaintea erei noastre, iar pe la mijlocul primului mileniu înaintea erei noastre au existat cîteva școli care tindeau spre o explicație pur cauzală a lumii, din care făcea parte și școala atomistă a lui Kanada.

Aceste orientări materialiste din gîndirea filozofică a vechiului Orient nu au dus la construirea unei imagini cauzale a lumii, în care un lanț consecutiv de cauze și efecte să explice întregul ansamblu de fenomene ale naturii cunoscute oamenilor. Astfel de imagini au fost create în Grecia antică.

Ele au fost create în coloniile ioniene ale Greciei de pe țărmul Asiei Mici, care au întrecut metropola sub aspectul dezvoltării sclavagismului și al diferențierii agriculturii și meseriilor, și unde apropierea teritorială le-a permis să se întîlnească înaintea altor ținuturi cu centrele culturale ale Asiei, iar comerțul maritim, care s-a dezvoltat relativ devreme, a apropiat Miletul și Efesul de Egipt. Filozofia ioniană a pus bazele unei reprezentări despre lume ca întreg unitar, în care toate fenomenele — cele astronomice, cele fizico-chimice și cele biologice — decurg dintr-un principiu unic. Filozofia ioniană a apărut în secolul al VI-lea î.e.n. Primul ei reprezentant, Tales din Milet (627—547), negustor și călător, care a vizitat Egiptul și alte țări îndepărtate, susținea că materia este unică și că toate procesele din natură constau în condensarea sau în rarefierea materiei unice. Dar această materie unică

este departe de substanța lipsită de proprietăți calitative concrete, care figurează în imaginile mecanice ulterioare ale lumii. În persoana lui Tales, cugetarea antică grecească a căutat o substanță unică, într-o anumită substanță concretă. Tales atribuie rolul de substanță unică apei, care este omogenă și mobilă, și care, condensîndu-se, dă naștere întregii varietăți a naturii.

Întrucîtva mai apropiat de substanța lipsită de calitate din sistemele ulterioare este „apeironul", principiul material prim a tot ce există, depre care vorbește Anaximandru (611—565), prietenul lui Tales. „Apeironul" nu este cîtuși de puțin o substanță capabilă doar să se deplaseze, el este ceva supus unor prefaceri calitative, care servesc ca noțiune inițială în cosmogonia lui Anaximandru. În doctrina lui Anaximene (566—499), filozof ionian din generația următoare, aerul este proclamat fundament al Cosmosului. Anaximene interpretează transformările calitative ale substanței prime — aerul — ca rarefiere sau condensare a acestuia. Aerul rarefiat este foc; aerul condensat este, rînd pe rînd, nori, apă, pămînt, pietre. În lipsa unei concepții atomiste, condensarea este o transformare calitativă. De altfel, trebuie să observăm că, în filozofia ioniană, noțiunile de transformare cantitativă și calitativă, noțiunile de substanță lipsită de calitate și de substanță concretă nu erau încă cristalizate și, în orice caz, nu deveniseră încă obiect al unei delimitări stabile. Această rezervă ne permite să considerăm transformarea substanței unice, care stă la baza imaginii lumii a filozofilor ionieni, drept o transformare calitativă.

În sistemul lui Heraclit (530—470), rolul substanței unice îi revine focului. Acesta trece („mișcarea în jos") în aer, în apă și, în sfîrșit, în pămînt; de aici, în ordinea inversă („mișcarea în sus") pămîntul se transformă în foc. Aceste tranziții explică toate fenomenele naturii: de exemplu, fulgerul este aer care a luat foc și arde, format din evaporarea apei, iar fulgerul îndepărtat este un nor care arde etc.

Gînditorii ionieni s-au străduit să încadreze în concepția materiei unice întreaga sumă de date științifice ale timpului lor. Sfera și varietatea acestor date sînt legate în mod direct de baza geografică relativ vastă (în comparație cu Orientul antic) a culturii me-

diteraneene, de diviziunea avansată a muncii, de intensitatea legăturilor comerciale, politice și culturale. Așa se explică abundența de date astronomice, geografice, meteorologice, fizice etc., care se încadrează cu mai mult sau mai puțin succes în matricea cauzală. Însuși caracterul (pe vremea aceea extrem de instabil) al acestei matrice este determinat — într-un mod considerabil mai complicat — de caracterul forțelor de producție ale lumii antice grecești. În sfîrșit, forma concretă în care au fost exprimate concepțiile din filozofia naturii, timpul și locul apariției lor, concluziile trase din ele, lupta de idei și căile răspîndirii noilor concepții au fost determinate de situația socială din orașele grecești. Ne vom opri aici asupra caracterului matricei cauzale, în care gînditorii greci încadrau cunoștințele lor concrete de astronomie, fizică, biologie etc. Ea nu era apriorică. Concepția generală a naturii rezulta din observații concrete și din generalizări primare. Dar care anume imagini și noțiuni extrase din experiența producției au devenit baza pentru formarea unui tablou cauzal unitar al lumii?

Aici va trebui să recurgem la o analogie istorică. În secolul al XVIII-lea, imaginea mecanică a lumii prezenta ansamblul proceselor fizice, chimice, iar în principiu și biologice, ca rezultat al unor deplasări mecanice ale corpurilor. Se tindea ca întreaga varietate a fenomenelor naturii să fie încadrată în matricea cauzală a legilor mișcării și interacțiunii unor părți discrete ale materiei lipsite de calitate. Aceste legi, ca și noțiunile abstracte ale mecanicii și imaginile intuitive ale corpurilor în mișcare și în interacțiune, erau extrase din practica producției secolelor al XVI-lea, al XVII-lea. Însă matricea cauzală poate fi și nemecanică. Ea poate pune în legătură starea calitativă a unui sistem la un moment dat cu starea sa calitativă la un alt moment, sau apariția unui sistem la un anumit moment cu dispariția unui alt sistem într-un alt moment. Dacă aceste conexiuni calitative sau substanțiale sînt fundamentale, iar imaginea obiectului ce apare, dispare, se transmută sau se schimbă calitativ, devenind imagine fundamentală în tabloul științific al lumii, avem în fața noastră o matrice cauzală în care gîndirea generalizatoare se stră-

duieşte să încadreze toate faptele care îi sînt cunoscute.

Filozofia ioniană a naturii a construit un tablou cauzal al lumii; ea a redus fundamentul ordinii cosmice la transformări de stare ale unei materii unice, însă aceste transformări erau calitative, materia unică poseda calităţi a căror schimbare explica apariţia, dezvoltarea şi structura lumii înconjurătoare.

În filozofia ioniană, se văd clar izvoarele empirice ale imaginilor şi ale noţiunilor folosite pentru explicarea ştiinţifică a lumii şi care au format matricea cauzală, necesară acestei explicaţii. Este vorba despre ontogeneza plantelor şi animalelor, despre circulaţia umezelii, care formează întrucîtva solul fertil şi apare totodată din sol, dispare în aer, se condensează în el etc., despre focul care distruge substanţa şi care dă naştere unor noi tipuri de substanţă, în cuptorul meşteşugarului. În secolele următoare au început să apară în lumea antică şi prototipurile unor alte noţiuni, mecanice. În ergasteriile sclavagiste, la construcţia oraşelor şi a templelor, în tabere şi în cetăţi se foloseau instalaţii mecanice, dispozitive de ridicat şi maşini de aruncat, care ofereau gînditorilor din Grecia antică şi din lumea elenistică analogii ce au constituit punctul de plecare al unor concepţii mecanice. Dar aceste concepţii au fost cu totul embrionare. Nici un gînditor al antichităţii greceşti nu ar fi putut începe un tratat despre fundamentele ştiinţei printr-o referire la un arsenal, cum a procedat Galilei, în secolul al XVII-lea. Cauza trebuie căutată în faptul că tehnica meşteşugarilor, a construcţiilor şi îndeosebi a agriculturii era grosolană, primitivă şi, lucrul cel mai important, stagnantă. Ea rămînea neschimbată de-a lungul unei generaţii, cîteodată chiar al mai multor generaţii, fără să necesite o analiză ştiinţifică, nedînd astfel impulsurile necesare pentru aplicarea unor analogii mecanice la problemele Cosmosului. Paralel cu aceasta, avea loc o lărgire rapidă a gospodăriei sclavagiste. Pe baza aceleiaşi tehnici imobile, primitive a meşteşugurilor şi a tehnicii agricole şi mai imobile şi primitive, erau colonizate ţinuturi noi, se dezvolta comerţul, se armau flotile, se întemeiau factorii şi fortăreţe, se construiau temple şi porturi. Gîndirea ştiinţifică era concentrată asupra unor pro-

bleme de geografie și de astronomie, ea îmbrățișa fapte mereu noi, compara plantele și animalele din propria țară cu cele care populează păduri și munți din ținuturi îndepărtate, unele condiții climaterice cu altele, un aspect al cerului înstelat cu altul, de la alte latitudini. În construcții, gîndirea creatoare era încătușată de problemele staticii: se schimbau stilurile arhitectonice, variau dimensiunile și destinația construcțiilor, se schimbau materialele de construcție, iar sarcinile noi cereau adeseori calcule teoretice în domeniul staticii. Problemele dinamicii se situau pe al doilea plan; mecanismele de construcție și cele balistice evoluau încet. În agricultură și creșterea vitelor, oamenii se gîndeau la alegerea plantelor de cultură și a raselor de vite, acumulau reprezentări tot mai precise despre ontogeneza organismelor, dar nu știau nimic despre filogeneza animalelor și a plantelor. De cele mai multe ori, obiectul gîndirii științifice îl formau transformările calitative sau apariția și dispariția unor lucruri din natură. Compararea și cercetarea acestor procese nu se întemeiau încă pe o concepție ferm stabilită. Gîndirea antică greacă privea lumea ca și cum ar vedea-o pentru prima dată, fără noțiuni inițiale stabilite, fără o matrice rigidă, care să sistematizeze într-un mod determinat materialul empiric. De aici „o naivă diversitate de păreri"[1], care conferă o frumusețe fără seamă literaturii științifice antice. În limitele aceluiași curent, aceleiași școli, în limitele creației aceluiași gînditor, cîteodată chiar în aceeași frază, întîlnim forme embrionare ale unor concepții care aveau să se dezvolte în sisteme științifice, filozofice determinate, opuse unul altuia și excluzîndu-se unul pe altul. În filozofia greacă sînt conținute într-o formă primitivă aproape toate tipurile ulterioare de concepții despre lume[2]. Aceasta se poate spune, cu mai multă sau mai puțină precizie, despre noțiuni din domeniul științelor naturii, ca: mișcarea absolută și cea relativă, impulsul, energia, atomii, evoluția vieții, chiar selecția și adaptarea. Compararea acestor forme em-

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 38, Editura politică, București, 1959, p. 373.

[2] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, Editura politică, București, 1959, p. 28.

brionare cu noțiunile dezvoltate de mai tîrziu trezește adeseori în cercetător ispita de a moderniza reprezentările antice. Modernizarea va fi eliminată și, totodată, vor fi găsite prototipurile istorice ale ideilor de mai tîrziu, dacă vom aborda știința antică din punctul de vedere din care Lenin a analizat *Metafizica* lui Aristotel[1]: comparînd cu ideile ulterioare, nu atît răspunsurile pozitive ale gînditorilor antichității, cît căutările, abordările, dificultățile, problemele nesoluționate... Tocmai această latură a chestiunii prezintă cea mai mare valoare euristică, atunci cînd căutăm în știința antică prototipuri ale tabloului actual al lumii, pentru a înțelege și a formula tendințele obiective ale acestuia și pentru a ne apropia de contururile încă neclare spre care ne conduc aceste tendințe.

Noțiunile nestabilite, vii, oarecum tremurătoare ale gîndirii antice, au pus în evidență contradicțiile ei și au lăsat viitorului probleme atît de vaste și de fundamentale, încît istoria ulterioară a științei pare un șir succesiv de răspunsuri la aceste probleme. Printre ele figurează cea a predicatelor imuabile, care se conservă, ale substanței în mișcare și problema transformării predicatelor, care ne permite să vorbim despre mișcarea substanței. În concepția ionienilor, transformarea calitativă a substanței unice stă la baza evoluției cosmice în ansamblul ei și la baza diverselor procese fizice, chimice și biologice. Totodată, se conturează imaginea mișcării corpurilor concrete, care nu suferă în acest cadru prefaceri calitative, adică imaginea deplasării unor corpuri identice cu ele însele sub aspect calitativ, a unor corpuri care își păstrează forma și proprietățile fizice. Deocamdată, vom lăsa de o parte această formă simplă a mișcării, care urmează după multe secole să devină forma de mișcare fundamentală în tabloul mecanic al lumii. Să luăm evoluția calitativă a Cosmosului, de exemplu „mișcarea în sus" și „mișcarea în jos" în concepția lui Heraclit. Ce este substratul permanent care se conservă în această evoluție? De ce putem identifica substanța care a fost apă cu substanța ce a devenit aer? Care este subiectul identic cu sine al acestor judecăți: „a fost" și „a devenit"?

---

[1] Vezi V. I. Lenin, *Opere*, vol. 38, pp. 371—378.

Aceste întrebări au fost puse în forme diferite în decursul istoriei științei; ele au condus la noțiunile de conservare a masei, a impulsului și a energiei, la noțiunile de omogenitate a spațiului și timpului, la noțiunile matematice de invarianți în diversele transformări la noțiunile de elemente care se conservă în reacțiile chimice și de atomi indestructibili în cazul modificării configurațiilor atomice, la noțiunea biologică de specie care se conservă în cazul pieirii organismelor, și la un mare număr de alte noțiuni. Știința a descoperit mereu noi legături ale variabilității și ale ereditățiii, ale mișcării și ale invarianților ei, ale transformărilor și ale indestructibilității. Ea a găsit aceste legături cu ajutorul experimentului, al observației sistematice și al unui aparat matematic elaborat. În secolul al V-lea î.e.n., gîndirea filozofică nu putea decît să intuiască legătura dintre conservarea și evoluția cantitativă a substanței. Uneori, ea se retrăgea din fața acestei coliziuni, însă ulterior, retragerea se dovedea a fi fost doar un episod temporar, care permisese să fie văzute noi căi de acces spre problemă.

O astfel de retragere a fost filozofia școlii eleate. La începutul secolului al V-lea î.e.n., Parmenide (515?—?) a opus imobilitatea ființei reale, continuei transformări heracliteene a lumii. Ființa este unică și imobilă. Această teză a lui Parmenide și a lui Zenon (490?—430), contemporanul și elevul său mai tînăr, a devenit punctul de plecare a metafiziciii idealiste; eleații vorbeau despre caracterul iluzoriu al lumii în transformare, pe care o percepem cu simțurile, și despre cunoașterea logică aprioriică a unei lumi adevărate, imobile, întotdeauna și pretutindeni identică cu ea însăși. Însă critica eleată a noțiunii de mișcare a făcut posibilă dezvăluirea unor noi laturi ale acestei noțiuni și a dat un impuls către o îmbogățire esențială a problemei mișcării.

Enunțîndu-și celebrele paradoxe sau aporii ale mișcării, Zenon a pus într-o formă foarte acută problemele fundamentale ale continuității și ale infinității spațiului și timpului. Vom reaminti unele dintre aceste paradoxe. O săgeată nu-și atinge niciodată ținta: înainte de aceasta, ea trebuie să parcurgă jumătate din drum, apoi un sfert, o optime etc., astfel că suma acestor fracțiuni

nu va fi niciodată egală cu un întreg. Ahile nu va ajunge niciodată din urmă broasca țestoasă: cînd el va alerga pînă la punctul în care se afla broasca țestoasă la momentul inițial, aceasta se va fi deplasat într-un loc nou; pînă va alerga la noul loc, broasca țestoasă va fi parcurs iarăși un anumit segment al drumului și ea va fi întotdeauna despărțită de Ahile printr-o distanță care se micșorează la infinit, dar care nu dispare niciodată.

Din paradoxe de acest fel, Zenon a dedus teza caracterului iluzoriu al mișcării. În realitate, ele arătau doar că nu putem duce pînă la capăt diviziunea infinită, că nu putem atribui infinitului proprietățile unui număr, fără a generaliza și a extinde noțiunea de număr, dezvoltată din observarea unor mulțimi finite. Este vorba despre contradicția reală dintre continuitatea mișcării și reprezentarea de punct prin care trece particula mobilă. Existența mișcării, adică infirmarea *concluziilor* lui Zenon, încă nu explică natura acestei contradicții. Este cunoscută povestea lui Diogene din Sinope, care, după ce l-a ascultat pe unul dintre adepții lui Zenon, a început apoi, în loc de răspuns, să se preumble încoace și încolo în fața interlocutorului său. Acest argument „de evidență" este tot atît de puțin demonstrativ, ca și obiecțiile analoge ulterioare împotriva heliocentrismului. Relatînd, în poezia *Mișcarea* („Mișcare nu e, a spus bărbosul înțelept..."), controversa dintre adeptul școlii eleate și Diogene, Pușkin încheie cu cuvintele:

„Căci zi de zi în fața noastră soarele se mișcă,
Și-avea dreptate încăpățînatul Galilei".

Încă antichitatea și-a dat seama de slăbiciunea argumentului lui Diogene. În lecțiile de istorie a filozofiei, ale lui Hegel, găsim sfîrșitul anecdotei: cînd interlocutorul său a acceptat argumentul intuitiv, Diogene a început să-l lovească cu bățul pentru că înlocuise înțelegerea logică prin constatarea unei certitudini aparente[1].

Analiza logică a aporiilor lui Zenon durează de două milenii și jumătate. Ea este legată de problemele fundamentale ale teoriei infinitului. Paradoxele lui Zenon reies

[1] Vezi observația lui V. I. Lenin, în legătură cu această povestire, în *Caiete filozofice* (V. I. Lenin, Opere, vol. 38, p. 254).

din reprezentarea de infinit, ca ceva gata realizat, actual existent, prin conceperea distanței finite ca o sumă a unei infinități de elemente fără extensiune, iar a spațiului infinit mare ca o sumă a unei infinități de volume finite. Această noțiune a unei mulțimi nenumărabile numărate este contradictorie. Infinitul astfel definit a căpătat numele de „infinit actual". Dimpotrivă, reprezentarea mărimii infinite ca o variabilă care poate crește nemărginit (sau care poate descrește, și atunci crește nemărginit numărul de părți descrescătoare ale unei mărimi finite) ne conduce la noțiunea de „infinit potențial". Ne vom mai ocupa ulterior de aceste noțiuni, iar acum trecem la alte orientări ale gîndirii științifice din Grecia antică.

În secolul al V-lea î. e. n. a fost exprimată într-o formă embrionară și fragilă ideea deplasării spațiale, mecanice, ca formă fundamentală a transformării în natură.

Empedocle (495—435), în poemul *Despre natură*, scrie despre cele patru elemente — focul, aerul, apa și pămîntul — care nu se mai transformă de loc unul în altul. Spre deosebire de concepțiile mecanice ulterioare, în sistemul lui Empedocle deosebirile calitative dintre elemente au un caracter obiectiv, ele nu se reduc la mișcări sau la configurații ale părților unei substanțe fără calitate, care se mișcă în vid. În tabloul lumii pe care-l conturează Empedocle nu există vid.

„Nu e în lume vid nicăieri, și de unde să fie?"

— scrie Empedocle în poemul *Despre natură*[1].

Elementele lui Empedocle nu se reduc la combinații diferite ale unei substanțe lipsite de calitate. În același timp, ele nu sînt etapele evoluției calitative a unei substanțe unice, cum am văzut la gînditorii ionieni și la Heraclit. În poemul lui Empedocle este dezvoltată ideea conservării fiecărei substanțe omogene, calitativ diferite de celelalte. Această substanță, fie ea foc, apă, aer sau pămînt, se conservă în separarea ei specifică

[1] Vezi fragmentele lui Empedocle, publicate în anexă la cartea lui Lucrețiu, *Despre natura lucrurilor*, vol. II, ediția rusă, M., 1947, p. 665.

de celelalte substanţe. Cu toată lipsa de determinare şi cu toată fragilitatea noţiunilor introduse, cu tot caracterul fragmentar al textului (din poemul *Despre natură* al lui Empedocle ni s-a păstrat abia a şasea parte), ideea conservării unei substanţe identice cu ea însăşi este exprimată limpede. Ea este îndreptată împotriva distrugerii heracliteene a elementelor calitativ diferite ale existenţei, în procesul continuu al prefacerilor substanţei unice.

„Aceste (elemente) sînt toate egale ca origine şi de aceeaşi vechime.
Funcţia ce o au în grijă e la fiecare alta, după felul de a fi al fiecăruia.
Şi ele stăpînesc rînd pe rînd în cursul ciclic al timpului.
În afară de acestea, nimic nu se produce în plus şi nimic nu încetează de a fi.
Căci dacă ele ar pieri cu totul, n-ar mai exista nimic.
Ce lucru ar mai putea să facă să crească lumea? Şi de unde să apară (această creştere)?
Apoi, încotro să dispară, deoarece nimic nu este lipsit de ele?
Dar acestea sînt tot ce există. Alergînd unele prin altele,
ele nasc mereu alte lucruri care sînt neîncetat aceleaşi."[1]

Existenţa tranzitorie este proprie combinărilor elementelor, nu elementelor înseşi.

„Acum trec la altă ordine de idei: nu există naştere pentru un lucru muritor, şi nici vreun sfîrşit al morţii fatale.
Ci există numai amestec şi despărţire a celor amestecate,
iar oamenii le numesc pe acestea naştere *(physis)*[2].
Dar cînd acestea (elementele) amestecîndu-se, la om, ajung în eter,
sau la neamul animalelor sălbatice sau la arbuşti
sau la păsări, atunci acest lucru e numit «a se naşte».
Iar cînd ele se despart, atunci se vorbeşte de destinul nenorocit al morţii"[3].

Prin urmare, Empedocle distinge un anumit complex de caracteristici substanţiale, prin care un element se deosebeşte de altul şi care garantează fiecărui element identitatea cu el însuşi, precum şi proprietăţi tranzitorii,

---

[1] Simpl. *Phys.*, 157, 25-ib. 161, 14 — Plut., *Amat.*, 13, p. 756. D. Clem., Strom., V, 15 (II 335, 22 St.).
[2] Plut., adv., Col. 10, p. 1111 F. — Aët. I, 30, 1.
[3] Plut., adv., Col. 11, p. 1113 AB.
Traducerea textelor lui Empedocle aparţine prof. univ. A. Frenkian, din *Primii materialişti greci*, Editura de Stat, 1950, apărută sub îngrijirea prof. univ. I. Banu.

dependente de îmbinările elementelor. Intrînd în diferite combinări, elementele capătă noi proprietăți și „pătrunzînd unul în altul devin mereu altele, rămînînd identice". Așadar, la Empedocle constatăm reprezentarea unui obiect care poate să aibă sau să nu aibă anumite proprietăți, rămînînd el însuși identic cu sine. Proprietățile variabile depind de combinările în care intră elementele, deci de trecerea dintr-o poziție (vecinătatea cu alte elemente) într-o altă poziție. De aceea, concepția lui Empedocle este prima concepție mecanicistă; ea reduce transformările calitative din natură (nu deosebirile inițiale dintre elemente, care sînt substanțiale, ci transformările !) la o deplasare a elementelor. Această deplasare are o semnificație clară, deoarece o parte în mișcare a unui element se deosebește calitativ de celelalte substanțe care o înconjură. Pentru a desprinde un corp format dinr-un singur element sau dintr-o combinare de elemente, nu este nevoie să proclamăm spațiul înconjurător vid. Vidul nu intervine în tabloul lumii, pe care-l zugrăvește Empedocle.

Dar care este cauza mișcării elementelor, ce silește părțile de foc, aer, apă și pămînt să-și părăsească combinările și să intre în altele?

Cauza acestor tranziții, deci a transformărilor din natură, constă în forțele care acționează asupra materiei, care silesc diversele elemente să se unească și să se descompună. Empedocle atribuie acestor forțe caracteristici antropomorfe sau, în orice caz, biologice. El denumește una dintre ele „dragoste" sau „prietenie", „afecțiune", „Afrodita" etc., iar pe cealaltă „dușmănie". Dar aceste forțe sînt substanțe materiale, ele posedă chiar greutate. Desigur, o analogie cu cîmpul de forțe, ca substanță fizică reală, ar fi prea riscantă. „Prietenia" duce la îmbinarea elementelor, „dușmănia" — la dezagregarea îmbinărilor. Ca rezultat, existența îndelungată este asigurată acelor combinări ale elementelor care concordă cel mai mult cu condițiile existenței. Empedocle extinde acest principiu la combinări structurale mai complexe ale elementelor. Selecția, care a fost considerată în secolul al XIX-lea drept lege biologică specifică a evoluției, a jucat la Empedocle rolul unei legi universale. Nu este nevoie să avertizăm că nu

avem de-a face cu o anticipare a unor idei de mai tîrziu, ci cu existența unor prototipuri antice ale tuturor sau ale aproape tuturor curentelor fundamentale din filozofia ulterioară a naturii. Aceste prototipuri nu înseamnă cîtuși de puțin că știința antică ar fi ajuns pînă la cunoștințele pozitive caracteristice pentru timpul nostru. Astfel de incursiuni în viitor ar fi inexplicabile din punct de vedere istoric. Însă existența unor prototipuri antice ale ideilor ulterioare este firească din punct de vedere istoric, ea se explică prin caracterul primitiv al noțiunilor, prin lipsa lor de cristalizare, prin supleţea lor. Prototipurile istorice ale cunoștințelor pozitive din epoca modernă sînt tendințele nesigure și neclare ale gîndirii antice, acele „poate" de o genială naivitate, care au apărut cîteodată explicit, alte ori implicit în antichitate cu ocazia generalizării materialului empiric ce creștea repede.

Schema universală a selecției complexelor raționale a fost aplicată în modul cel mai concret la evoluția naturii vii. Ar fi mai corect să spunem că numai aici se putea zugrăvi un tablou al selecției întrucîtva concret, chiar dacă era fantezist: adaptivitatea plantelor și îndeosebi a animalelor la condițiile de existență era evidentă încă în antichitate. Cît privește teoria substanței anorganice, aici erau posibile doar cele mai generale și mai neclare raționamente (forma poetică a operelor lui Empedocle era corespunzătoare acestei neclarități) despre selecția unor îmbinări raționale, create de „prietenie", în condițiile activității distructive a „dușmăniei".

Empedocle conturează o imagine a evoluției organice. Nu exista încă Soarele cînd pe Pămînt au fost create din bulgări de tină întîi forme vegetale, apoi și animale. Diversele organe s-au angrenat în modul cel mai straniu. Brațe fără umeri, ochi fără fețe etc. se reuneau, obținîndu-se astfel un mare număr de organisme, care, în majoritatea lor, au pierit. S-au conservat numai organismele stabile viabile, alcătuite rațional.

Așadar, încă de la primii pași ai gîndirii antice, imaginea științifică a lumii pretindea să explice cauzal fenomenele raționale care se observă în natură. Și ea a intuit efectiv noțiunea fundamentală care a permis să

se interpreteze cauzal concordanța dintre organisme și mediu, precum și să explice obținerea unor procese ordonate macroscopic dintr-un mare număr de procese microscopice aleatorii, perfect dezordonate.

Problema relațiilor dintre procesele microscopice și rezultatul lor macroscopic (nu este cazul să facem aici rezerva în legătură cu caracterul convențional al acestor termeni, cînd îi aplicăm științei antice) și-a găsit o ilustrare originală și extrem de interesantă din punct de vedere istoric în sistemul lui Anaxagora (500 ? — 428 î.e.n.).

Patria acestui sistem a fost Atena. La jumătatea secolului al V-lea, pe cînd trăia aici Anaxagora, Atena cunoștea secolul de aur al lui Pericle. Ea devenise capitala lumii. Rîndurile pline de entuziasm ale lui Plutarh ne-au păstrat aureola care înconjura viața politică și culturală a orașului. Pînă și tehnica meșteșugărească și tehnica construcțiilor, în general stagnante, treceau printr-o perioadă de avînt. Repeziciunea cu care au fost înălțate edificii ca Partenonul, templul lui Teseu și Propileele i-a uimit pe contemporani, în aceeași măsură cu măreția și eleganța arhitecturii și perfecțiunea statuilor care împodobeau templele și drumul spre Acropole. Rapiditatea lucrărilor de construcții se datora nu numai rezolvării unor probleme de statică, cu toate că acestea figurau în centrul preocupărilor mecanicii construcțiilor, ci și dezvoltării unor reprezentări și noțiuni din domeniul dinamicii. Într-o perioadă, limitată în timp și spațiu, cînd resursele acumulate în decursul războaielor medice nu fuseseră încă aruncate în joc pentru cucerirea Oicumenei, ci erau utilizate pentru înflorirea internă a Atenei, are loc un considerabil avînt tehnico-științific în domeniul producției. El este limitat de posibilitățile sistemului sclavagist și nu schimbă caracterul general al tehnicii antice, însă avîntul cunoștințelor aplicative este întîlnit, incontestabil, în secolul lui Pericle, și tot atît de incontestabilă este influența sa asupra caracterului gîndirii științifice. În această perioadă au pătruns în știință multe noțiuni noi, legate în parte de probleme de dinamică. Avîntul general al ideilor, lărgirea cunoștințelor despre lume, înflorirea democrației sclavagiste, noul conținut al artei și formele sale noi au contribuit la o generalizare a problemelor particulare. În persoana

lui Anaxagora, gîndirea greacă a făcut un important pas înainte în comparație cu reprezentările științifice apărute în coloniile ioniene și italice.

În tabloul lumii pe care-l zugrăvește Anaxagora, noțiunea fundamentală are la bază particule microscopice ale substanței (pe care Aristotel le-a denumit homeomerii), din ale căror combinări se formează diversele corpuri din natură. Pentru noi este astăzi deosebit de interesantă ideea proprietăților calitative ale corpurilor, care depind de predominarea unor anumite homeomerii în compoziția lor. Proprietățile homeomeriilor nu sînt direct observabile, ne putem face o idee despre ele numai în cazul predominării cantitative a respectivelor particule într-un corp considerat. Aceasta este prima formulare embrionară a unei idei foarte importante, care străbate întreaga dezvoltare ulterioară a științei. Ideea unor proprietăți observabile (le-am putea denumi macroscopice), ca rezultat al predominării cantitative a unor elemente inobservabile direct, a devenit după mulți ani o latură esențială a concepției atomiste. La Anaxagora, această prezentare este în legătură cu ideea posibilității de a fragmenta la infinit substanța. Dar considerînd această fragmentabilitate infinită, Anaxagora ajunge la un anumit prototip istoric al ierarhiei leibnizene dintre părțile discrete ale substanței; particula este foarte mică în comparație cu corpul în care proprietățile ei capătă o formă observabilă, dar ea însăși este foarte mare în comparație cu părticelele de rang inferior care o constituie. Această ierarhie este infinită. Bineînțeles, putem vorbi despre o analogie numai într-un sens convențional, cel în care vorbim în general despre formele embrionare ale concepțiilor științifice din secolele următoare, conținute în știința greacă.

CAPITOLUL II

ATOMISTICA LUI DEMOCRIT, EPICUR ŞI LUCREŢIU

În tabloul lumii, pe care-l zugrăveşte Empedocle, corpul se deosebeşte de mediul înconjurător prin particularităţile sale calitative. Astfel de corpuri pot fi de mărime şi de formă determinate; limitele lor sînt determinate de deosebirile lor calitative; ele se pot mişca în mediul constituit din combinări de elemente calitativ diferite. Această imagine are o semnificaţie tipică. Dacă renunţăm la deosebirile calitative obiective ale materiei şi la conservarea elementelor calitativ diferite, atunci separarea elementelor corpurilor din mediul înconjurător devine o problemă complicată. Atomistica antică a rezolvat o problemă de acest gen, atribuind realitate nu numai fiinţei — existenţei materiei în spaţiu — ci şi nefiinţei, adică spaţiului lipsit de materie. Aşadar, deosebirile calitative dintre elemente au fost înlocuite printr-o deosebire substanţială între fiinţă şi nefiinţă. În mod corespunzător, conservarea elementelor determinate calitativ a cedat locul conservării fiinţei ca atare. Acesta este punctul de plecare al imaginii mecanice a lumii. Realitatea vidului şi discontinuitatea materiei permit ca deosebirile calitative ale corpurilor să fie reduse la poziţia, forma şi mărimea atomilor.

Într-o relatare ulterioară despre începuturile atomisticii vechi, greceşti, au fost expuse concepţiile întemeietorilor ei, Leucip şi Democrit.

„Leucip, originar din Elea, iar după părerea altora, din Milet, după ce s-a familiarizat cu filozofia lui Par-

menide, a urmat în teoria substanței altă cale decît Parmenide și Xenofan, se pare, chiar calea opusă. Parmenide și Xenofan credeau că Universul este unic, imobil și mărginit. Ei erau de părere că este inadmisibil să căutăm în lume neființa. Dimpotrivă, Leucip credea că în lume există o infinitate de atomi, elemente care se mișcă întotdeauna. Atomii au o infinitate de forme. Numărul formelor este infinit, deoarece în natură nu există motive ca el să fie mărginit la o anumită valoare, ca el să fie așa și nu altfel. Totodată, Leucip vedea în ceea ce există o neîntreruptă apariție și transformare. Mai departe, după părerea sa, ființa există într-o măsură nu mai mare decît neființa, iar atît una cît și cealaltă sînt cauzele apariției lucrurilor. Ființa este constituită din atomi, esența lor constă din densitatea și plinătatea lor absolută. Ei se mișcă în vid, în neființă, care există cu tot atîta realitate ca și ființa. Democrit din Abdera, prietenul lui Leucip, vedea și el începutul a ceea ce există în plin (el îl denumea ființă) și în vid"[1].

Această concepție armonioasă și consecventă pare să fie o expunere exactă a ideilor fundamentale ale lui Leucip. De la Leucip însuși, care a trăit în secolul al V-lea î.e.n., ne-au rămas numai numele și o singură frază, pe care o citează cuvînt cu cuvînt filozoful Aetiu din secolul al II-lea e.n.: „Nimic nu apare fără cauză, ci totul cu un anumit temei și în virtutea necesității"[2].

Programul unei explicații pur științifice a lumii, în forma sa cea mai consecventă pentru acel timp, a fost îndeplinit de atomistica lui Leucip și Democrit. Aetiu expune după cum urmează ideea lui Leucip și a discipolilor săi: „Lumea este neînsuflețită și nu se supune Providenței; construită din atomi, ea este subordonată naturii neraționale"[3].

Ceea ce ni s-a păstrat din moștenirea literară a lui Democrit, contemporan mai tînăr al lui Leucip, constă din fragmente destul de numeroase, dar nici una dintre cărțile sale nu ni s-a păstrat în întregime; dispunem doar de o listă a acestor cărți.

---

[1] Simpliciu, *Aristot., Phys.*, I, 2, 28, Diels.
[2] Aetiu, I, 25, 4.
[3] Aetiu, II, 3, 2.

Democrit s-a născut la Abdera, în anul 470 î.e.n., și a trăit mult, poate pînă în anul 380. A călătorit prin Babilonia, Persia și Egipt și a locuit mulți ani la Atena. Nu este greu să ne imaginăm acum ce mulțime de date științifice a preluat gînditorul grec de la magii și preoții Orientului, o dată cu însușirea celor stabilite de filozofia elenă în secolul al VI-lea. Aristotel și alți gînditori din perioada următoare au fost uimiți de amploarea cunoștințelor lui Democrit. Ei citează titluri ale scrierilor lui Democrit, care se ocupă de fizică, matematică, tehnică, muzică, filologie, etică și estetică (aceste opere au dispărut, cu excepția unor fragmente, încă în secolele al V-lea—VI-lea e.n.). Tot atîta uimire a provocat și ideea unică ce pătrunde lucrările filozofice și științifice ale lui Democrit: ideea reducerii tuturor fenomenelor naturii la deplasarea unor particule lipsite de calitate.

Imaginea cauzal-mecanică a lumii a redus întîi la poziția, dimensiunile și forma atomilor deosebirile dintre cele patru elemente: pămîntul, aerul, apa și focul. Din punctul de vedere al lui Democrit, aceste elemente sînt grupările primare ale atomilor lipsiți de calitate.

Lumile apar din atomi care rătăcesc în spațiul cosmic (în „marele vid"), datorită mișcărilor în vîrtej, iar acestea despart îngrămădirile haotice inițiale de atomi în îngrămădiri de atomi omogene în ce privește forma și mărimea lor. În centru se strîng atomii mari, iar la periferie, cei mici. Corpurile cerești sînt blocuri incandescente, care se învîrtesc în jurul Pămîntului plan. Intîlnim aici o trecere importantă sub raport istoric de la vechea concepție — că stelele sînt orificii în sfera cerească solidă, prin care se vede elementul foc — spre un tablou mecanic al Cosmosului.

Democrit era de părere că spațiul este omogen, că în lume nu există centru și toate punctele spațiului cosmic sînt nedeosebite unul de altul. În schimb, spațiul nu este izotrop, în el există un sus absolut și un jos absolut, iar aceste direcții nu sînt echivalente. Forța de gravitație este îndreptată în jos în sens absolut, din care cauză antipozii nu pot exista, astfel că numai suprafața plană superioară a Pămîntului este locuită.

Ne vom ocupa mai tîrziu de problema omogenității și a izotropiei spațiului. Menționăm numai că ideea

omogenității spațiului este legată de ideea infinității sale. În spațiul infinit nu există nici frontiere, nici centru, care să se afle la egală distanță de toate punctele suprafeței sferice ce mărginește spațiul.

În spațiul infinit există o infinitate de lumi. Ele se deosebesc una de alta: în unele lumi Soarele și Luna lipsesc, în altele, Soarele și Luna sînt mai mari decît în lumea pămîntului. Unele lumi cresc, altele tind spre distrugere și pier cu prilejul ciocnirilor. Apariția și pieirea lumilor au loc neîntrerupt.

Avem aici punctul de plecare al unei idei la prima vedere extrem de curioasă, care a apărut în Grecia antică. Dacă există o infinitate de lumi, iar fiecare lume este constituită dintr-un număr finit de atomi, atunci combinările atomilor trebuie să se repete și să întîlnim în spațiu lumi total identice una cu cealaltă, identice pînă și în privința înfățișării, numelor și replicilor oamenilor care stau astăzi de vorbă.

Vom fi nevoiți acum să încălcăm ordinea cronologică a expunerii și să trecem la dezvoltarea ideilor lui Democrit. Pînă acum nu am expus fragmente din lucrările pierdute ale lui Democrit, ci relatări ulterioare. Acum vom trece la operele unor filozofi de mai tîrziu, care nu s-au mărginit să expună atomistica lui Democrit, ci au și sistematizat-o, au sintetizat-o și au completat-o în punctele ei esențiale, cu noi date din domeniul studiului naturii.

În perioada imediat următoare lui Democrit, au ajuns la o largă răspîndire ideile lui Platon și, ceva mai tîrziu, ideile lui Aristotel. Dar chiar la începutul perioadei postaristotelice, atomistica lui Democrit a renăscut în scrierile lui Epicur (341—270).

În secolul care-l desparte pe Epicur de Democrit s-au schimbat multe în lumea greacă. S-a terminat secolul de aur al lui Pericle, a luat naștere și s-a descompus imperiul lui Alexandru Macedon, au apărut statele eleniste, a înaintat considerabil criza economiei sclavagiste, iar în filozofie centrul preocupărilor s-a deplasat, în acest timp, de la reprezentările din domeniul filozofiei naturii, la problemele eticii.

Epicur, originar din Samos, a întemeiat în anul 307 î.e.n. o școală filozofică la Atena, în grădina sa, unde a

expus un sistem filozofic, care şi-a cîştigat o deosebit de largă celebritate. El şi-a datorat această celebritate mai ales concluziilor sale din domeniul filozofiei morale şi, în particular, afirmaţiei că scopul vieţii trebuie să fie lipsa suferinţelor. Pentru ca să nu existe suferinţă, viaţa trebuie întemeiată pe raţiune şi pe dreptate, trebuie să dispară frica de moarte şi credinţele religioase legate de ea. Aforismele morale şi cele din domeniul filozofiei naturii, ale lui Epicur, sînt pătrunse de o uimitoare armonie între sentiment şi raţiune. Lev Tolstoi spune că nu există argument mai convingător împotriva fricii de moarte decît celebra frază a lui Epicur din scrisoarea către Meneceu: „...moartea nu are nici o legătură cu noi, deoarece, atunci cînd existăm noi, moartea încă nu există, iar atunci, cînd moartea este prezentă, noi nu existăm"[1].

Tot ce ştim despre viaţa şi despre persoana lui Epicur este în armonie cu această concepţie. Scrisoarea pe care Epicur a trimis-o înainte de moarte lui Idomeneu începe cu cuvintele: „În această fericită şi ultimă zi a vieţii mele, îţi scriu următoarele....". Urmează apoi o frază despre dureri chinuitoare, după care Epicur scrie: „Dar toate acestea le combate bucuria sufletească pe care o am, amintindu-mi de convorbirile pe care le-am avut"[2].

După Marx, natura este pentru Democrit, aşa cum o zugrăveşte concepţia atomistă, plină de antinomii şi de contradicţii. De aceea, Democrit se lansează în domeniul cunoştinţelor empirice, vizitează aproape toate ţările cunoscute pe atunci, ajunge la culmile erudiţiei. Epicur, dimpotrivă, năzuieşte către o cunoaştere care să contribuie la liniştea sufletească. Marx citează legenda conform căreia Democrit şi-ar fi scos ochii, pentru ca impresiile vizuale să nu stea în calea construcţiilor apriorice ale raţiunii. Şi totodată, acest om cutreierase

---

[1] Lucreţiu, Despre natura lucrurilor, ed. rusă cit., vol. II, *(Fragmentele lui Epicur şi ale lui Empedocle)*, p. 583

[2] *Ibidem*, p. 635.

jumătate din lume în căutarea unei soluții senzorial-empirice a antinomiilor logice.

„Și pe cînd, în cele din urmă, Democrit, dezamăgit de cunoaștere, își ia singur vederea, Epicur, simțind apropierea morții, intră într-o baie caldă, cere vin curat și recomandă prietenilor săi să rămînă credincioși filozofiei"[1].

Și totuși, amîndoi — și Democrit și Epicur — au fost adevărați eleni prin armonia dintre concepția lor despre lume și viață și prin intuirea vie a mobilității și a complexității existenței. Unul a ajuns la un tablou mecanic consecvent al naturii și și-a dat limpede seama de antinomiile acesteia, al doilea, după cum vom vedea mai departe, nu a dezvoltat ideile necesității mecanice pînă la ultima lor consecință logică.

Au mai trecut două secole. Țările elenistice se aflau sub stăpînirea Romei. Legiunile lui Cezar au cucerit Galia și au înaintat pînă la Oceanul Atlantic, iar trupele lui Pompei au străbătut Siria, Asia Mică și Transcaucazia. Cu puțin timp înainte, viața internă a Romei fusese zguduită de revolta sclavilor de sub conducerea lui Spartacus, de lupta dintre consuli, de conjurația lui Catilina. În acești ani, s-a conturat în societatea romană o anumită reacțiune împotriva războaielor și a luptelor intestine. La Roma, mulți opuneau stihiei războaielor, a conspirațiilor politice și a intrigilor electorale — pacea, libera cugetare și cercetarea calmă a naturii. Printre adepții romani ai lui Epicur se afla un mare poet și gînditor, care a expus doctrina filozofului grec într-un poem ce a exercitat o influență colosală asupra dezvoltării spirituale a multor generații. Este vorba despre Lucretius Carus, autorul poemului *Despre natura lucrurilor.*

Lucrețiu s-a născut la începutul secolului I î.e.n. și a murit pe la jumătatea secolului. După unele date, el s-ar fi născut în anul 55 î.e.n. și ar fi murit în anul 9 î.e.n. Nu se cunoaște anul apariției poemului *Despre natura lucrurilor.*

---

[1] K. Marx—F. Engels, *Opere*, ed. rusă, vol. I, M., 1926, p. 36.

La începutul poemului, Lucreţiu vorbeşte despre Epicur:

„Omul, pe vremuri, zăcea într-o josnică viaţă oriunde
Ochii ţinteai pe pămînt, superstiţia greu apăsîndu-l;
Din înălţimile bolţii cereşti al ei cap arătîndu-şi,
Ameninţa muritorii cu îngrozitoarea-i privire,
Cînd, între oameni, un Grec cel dintîi îndrăzni să ridice
Ochii muritori înspre ea şi întîiul i-a stat împotrivă;
Nici a zeităţilor vază, nici trăsnetul, cerul prin tunet
Care-nspăimîntă, pe acesta să-l ţină-n loc n-au fost în stare,
Ci-ntăritatu-i-au încă aprinsul curaj să dorească
Primul să frîngă-ale firii porţi strîmte şi greu zăvorite.
Deci biruit-a puterea-i năvalnică-a minţii şi astfel,
Dincolo mult de-ale lumii zăgazuri de flăcări, trecut-a...
A străbătut nesfîrşitul întreg cu-al său spirit şi cuget“[1].

În continuare sînt expuse concepţiile lui Epicur. Ne vom ocupa de reprezentările despre spaţiu, despre timp, despre materie şi despre mişcarea atomilor.

Spaţiul vid şi materia sînt cele două principii unice ale Cosmosului. Spaţiul este omogen. Lucreţiu se pronunţă împotriva ideii unui centru al Universului; acesta este infinit, nu are nici centru, nici hotar. Materia este şi ea infinită. Lucreţiu dezvoltă ideea foarte interesantă a legăturii dintre infinitatea spaţiului şi infinitatea materiei. Spaţiul vid are un loc determinat, dacă este înconjurat de materie. De aceea, ori de cîte ori întîlnim în Univers vid, acesta trebuie să cedeze mai departe locul unui spaţiu plin, materiei. Dar şi materia ocupă un loc determinat, dacă este mărginită de vid:

„Nu poate Totul el însuşi să-şi pună o margine sieşi;
Lucru ce firea-l veghează cu grijă, căci ea hotărăşte
Să se-ntrerupă prin vid orice corp, iar vidul prin corpuri,
Şi prin aşa rînduri, nesfîrşit să rămînă întregul“[2].

Cît priveşte timpul, acesta nu este un principiu independent al existenţei, el nu există separat de spaţiu şi de materie. Existenţa independentă a spaţiului şi imposibilitatea existenţei independente a timpului constituie o trăsătură extrem de importantă pentru ima-

[1] Lucreţiu, *Poemul naturii*, în traducerea romînească a lui D. Murărăşu, Bucureşti, 1947, p. 2.
[2] *Ibidem*, p. 26.

ginea mecanică a lumii, poate chiar trăsătura ei cea mai caracteristică. Din punctul de vedere al mecanicii, timpul este o succesiune de poziții spațiale ale unui corp în mișcare. Mișcarea corpurilor generează curgerea timpului, o clipă se deosebește de alta printr-o poziție spațială diferită a mobilului, printr-o altă configurație spațială a corpurilor. Dacă un corp ocupă un anumit spațiu și este constituit din atomi, atunci repausul acestui corp poate fi însoțit de modificări ale structurii sale și acest proces va fi fundamentul reprezentării despre curgerea timpului. Însă, în afara mișcării și a repausului corpului, timpul — spre deosebire de spațiu — nu există:

„Nu ființează de-asemeni nici timpul prin el, ci din lucruri
Simțul încheie aceea ce fost-a în vreme apusă,
Ce se petrece acum sau urmează apoi să se facă.
Timpul, deci, mărturisi-vei că nu-l simți ca timp prin el însuși,
Neatîrnat de un corp în mișcare ori dulce repaus“[1].

Teoria materiei, dezvoltată în paginile poemului lui Lucrețiu, conține un șir de argumente în favoarea caracterului discret al substanței. Un argument semnificativ este numărul finit al combinațiilor atomilor. Dacă materia ar fi infinit fracționabilă, atunci în fiecare corp numărul infinit al elementelor sale infinit mici ar putea forma o infinitate de combinări. În acest caz nu ar exista în lume o revenire la vechile combinări. Însă natura se întoarce mereu la aceleași forme, din care cauză trebuie să recunoaștem fracționabilitatea mărginită a substanței, existența unor elemente indivizibile mai departe.

Spre deosebire de atomii lui Democrit, atomii lui Epicur și ai lui Lucrețiu nu au numai formă și poziție, ci și greutate. Greutatea face atomii să cadă în spațiul cosmic. Ei nu se pot opri. Lucrețiu înfățișează tabloul mișcării dezordonate a firelor de praf într-o rază de soare, care străbate o cameră întunecoasă, iar apoi explică mișcarea firelor de praf prin ciocnirea unor corpuri mai puțin mari. Acestea din urmă se mișcă sub

[1] Lucreţiu, *op. cit.*, p. 12.

acțiunea unor corpuri și mai mici, și astfel ierarhia mișcării continuă pînă la atomi:

„Căci mai întîi ele însesi, prin sine, încep să se miște,
Apoi acele din corpuri ce-s mici înjghebări de materii
Și-n ce privește puterea aproape sînt mult de principii,
Prin lovituri nevăzute, de-acestea-îmboldite se mișcă.
Ele la rînd, mai departe, pe altele mari le atîță
Și din principii pornind începutu-i, mișcarea ajunge
Pînă pe-ncetul o pornim sub simțuri, așa ca pe-aceia
A corpușoarelor care se joacă-n mănunchiul de raze.
Însă prin ce lovituri se-mplinește, rămîne o taină"[1].

Lucrețiu zugrăvește un tablou mecanic extrem de concret și de amănunțit al naturii. Îl interesează numai posibilitatea principială a unei explicații mecanice. În problemele particulare, Lucrețiu admite explicații diferite.

„Greu mi-i să-ți spun hotărît între toate pricina cea dreaptă,
Dar, cum învăț ce se poate în tot și cam ce se întîmplă
În feluritele lumi în chip osebit întrupate,
Țiu să desfășur pe rînd feluritele pricini din care
Stelele pot să se miște deasupra-n întreg necuprinsul.
Fără-ndoială din toate doar una-i căutata pricină
Producătoare-a mișcării, să spun însă care-i anume,
Nu-i potrivit c-un om care merge la pas înainte"[2].

Însă această neuniformitate a diverselor explicații concrete nu zdruncină uniformitatea principială a explicației mecanice a tot ce se-ntîmplă în lume. O zdruncină, mai exact, o limitează o altă deosebire importantă dintre atomistica lui Epicur și a lui Lucrețiu și cea a lui Democrit. Este vorba despre abaterile spontane de la linia dreaptă din mișcările atomilor.

Dacă atomii se mișcă sub influența greutății, nu spre un anumit centru, ci spre Pămîntul infinit plan, atunci căile lor paralele exclud ciocnirea atomilor și formarea combinațiilor lor, adică a corpurilor vizibile. Problema se rezolvă printr-o abatere transversală de la căile lor rectilinii, care este spontană, nedeterminată nici de greutatea atomilor, nici de interacțiunea lor.

Epicur a introdus abaterile spontane pentru a salva imaginea lumii de un determinism fatalist, care i se

[1] Lucrețiu, *op. cit.*, p. 34.
[2] *Ibidem*, p. 137.

pare o idee mai apăsătoare decît fatalismul religios. În scrisoarea către Meneceu, Epicur spune: „În adevăr, ar fi mai bine să urmăm mitul zeilor, decît să fim sclavi ai fizicienilor (cercetătorilor naturii); mitul oferă o urmă de speranţă în înduplecarea zeilor prin cinstirea lor, pe cînd destinul cuprinde o necesitate inexorabilă"[1].

Pentru ca tabloul lumii să nu ajungă în impasul fatalismului naturalist, Epicur admite în cele mai elementare procese ale naturii, în mişcarea atomilor, anumite abateri spontane, nedeterminate de necesitatea mecanică.

Lucreţiu abordează iniţial aceste abateri din punctul de vedere al explicării combinării atomilor în grupuri.

„Încă un lucru mai este ce vrem cunoscut să ţi-l facem:
Cînd, dup-o linie dreaptă, prin vid cad semințele prime,
Prin greutatea lor însăşi, în loc şi-n vreme pe care
Nu le-aş putea hotărî, se abat puțintel de la cale,
Totuşi de-ajuns ca să spui că mişcarea le este schimbată.
Căci dacă nu s-ar abate, dac-ar urma să se lase
Tocmai ca picurii ploii în jos prin întinderea goală,
Nu s-ar isca întîlniri, n-am avea nicidecum vreo ciocnire
Între principii: nimic n-ar fi fost făptuit, deci, de fire"[2].

Mai departe, Lucreţiu, urmîndu-l pe Epicur, vorbeşte despre libertate, care cere o limitare a necesităţii mecanice absolute în procesele naturii, pentru ca mintea omului să nu fie cu totul subordonată necesităţii . . .

„Şi, ca înfrînt, nu-i silit s-o urmeze, mereu s-o îndure,
Se datoreşte măruntei abateri a primelor corpuri,
Care e nehotărît în ce loc şi-n ce vreme se-ntîmplă"[3].

O îndelungată tradiţie, care-şi are începutul la Cicero, a constat în trata cu o extremă desconsiderare doctrina abaterii spontane *(clinamen)*. Cicero spune că renunţarea la cauzalitatea mecanică este cu totul arbitrară în cazul de faţă şi că „nimic mai ruşinos nu i se poate întîmpla unui fizician". Marx, în teza sa de doctorat *Deosebirea dintre filozofia naturii la Democrit şi la Epicur*, spune, în opoziţie cu această tradiţie, că atomul nu ar fi noţiunea fizică fundamentală a tabloului

[1] Lucreţiu, *Despre natura lucrurilor*, ed. rusă, M., 1947, vol. II, *(Fragmentele lui Epicur)*, p. 599.
[2] Lucreţiu, *Poemul naturii*, ed. rom. cit., p. 36.
[3] *Ibidem*, p. 38.

lumii, dacă el ar fi subordonat în mişcările sale unor forţe exterioare şi nu ar avea mişcarea spontană[1].

Ideea abaterii spontane apare, în perspectiva istorică, drept prototipul antic al concepţiilor fizice care, într-o formă sau alta, au rupt-o cu determinismul mecanicist laplaceian sau l-au limitat. Reamintim celebra frază a lui Laplace despre fiinţa care, cunoscînd poziţiile şi vitezele tuturor particulelor din Univers, ar putea să prevadă univoc şi cu o precizie absolută soarta lui ulterioară. Dacă fizica clasică a secolului al XIX-lea a arătat ireductibilitatea legilor statistice macroscopice la cele pur mecanice, în schimb, pentru procesele microscopice, abia fizica modernă este cea care a stabilit posibilitatea unor mişcări spontane de natură nemecanică, ce acţionează, în ultimă instanţă, asupra proceselor macroscopice.

Amînăm pînă la ultimul capitol al acestei cărţi expunerea reprezentărilor actuale despre procesele spontane nemecanice din microcosm. Remarcăm numai că tocmai aceste procese spontane stau, poate, la baza particularităţilor specifice ale particulelor elementare, care le deosebesc de particulele clasice.

Conspectînd lecţiile lui Hegel asupra istoriei filozofiei, Lenin menţionează atacurile tradiţionale împotriva teoriei epicuriene a abaterii spontane şi scrie: „Dar electronii"[2]. Este o observaţie foarte importantă, asupra căreia trebuie să insistăm.

Ea este o ilustrare pentru modul de a aborda gîndirea antică, formulat de Lenin în observaţiile la *Metafizica* lui Aristotel. Evident, nu este vorba despre o anticipare antică a teoriei electronice. Această comparare a *„clinamen"*-ului cu mişcarea electronilor arată că apropierea *problemelor* antice de *răspunsurile* contemporane nu duce şi nu poate să ducă la o modernizare. Dar nu aceasta este principalul. Lenin consideră electronul, probabil, drept o particulă care sparge schema determinismului laplaceian şi reabilitează abaterea spontană epicuriană. Ulterior, mecanica cuantică şi electrodinamica cuantică au arătat că electronii, la fel

[1] Vezi K. Marx—F. Engels, *Opere*, ed. rusă, M., 1929, vol. 1, p. 45.

[2] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 38, p. 292.

cu celelalte particule elementare, în domenii microscopice, nu sînt efectiv supuse condiţiilor determinismului mecanicist laplaceian, că acestea se supun unor legi mai generale şi mai cuprinzătoare, care determină schimbarea stărilor lor. Ştim acum că sînt posibile abateri virtuale ale electronilor de la poziţiile şi de la vitezele date de legile mecanice, „... în loc şi-n vreme pe care nu le-aş putea hotărî, ...".

În anii 1915—1916, pe cînd Lenin conspecta lecţiile lui Hegel asupra istoriei filozofiei, toate acestea nu se ştiau încă. De ce atunci Lenin aminteşte electronul, ca pe o particulă care, poate, reabilitează abaterea spontană epicuriană? Confruntînd această menţiune cu anumite pagini din *Materialism şi empiriocriticism*, trebuie să presupunem că Lenin avea în vedere concepţiile fizice a căror *posibilitate* rezultă din situaţia constituită în fizică la începutul secolului. Pe atunci nu exista o teorie pozitivă a mişcării electronului, care să admită abaterea sa spontană de la linia dreaptă, nelegată de acţiunea unor cîmpuri de forţe. Dar se putea prevedea de pe atunci că proprietăţile electronului sparg în genere cadrul determinismului mecanicist laplaceian, şi anume nu „de sus" (adică în comportarea ansamblelor statistice), ci „de jos" (la scara microscopică şi ultramicroscopică). Lenin a văzut în apariţia teoriei electronului şi în descoperirile anilor 1890—1910 nu numai trecerea la imaginea electromagnetică a lumii, ci, mai departe, şi la imagini mai complicate. Bineînţeles, pentru teoria electronului posibilitatea de principiu de a depăşi limitele determinismului mecanicist laplaceian este suficientă pentru a reabilita „clinamen"-ul şi a ne da seama de mărginirea şi de neîntemeierea criticii sale tradiţionale. După cum am mai arătat în *Introducere*, pentru aprecierea istorică a ideilor trecutului, pentru a răspunde la întrebările conţinute în aceste idei, pornind de la o concepţie nouă, nu este nevoie ca posibilitatea principială a unei asemenea concepţii să se realizeze într-o teorie univocă şi închegată.

Mai este aici şi un alt aspect. Aprecierea ideilor lui Epicur şi ale lui Lucreţiu de pe poziţiile fizicii moderne este punctul de plecare al unor reprezentări foarte fructuoase despre semnificaţia şi perspectivele fizicii moderne. Cînd ştiinţa antică ajunge în faţa judecăţii noilor

idei fizice, se stabileşte nu numai „compoziţia infracţiunii", ci şi „completul de judecată", nu numai însemnătatea istorică a vechilor concepţii, ci şi sensul ideilor noi. În aceasta constă valoarea euristică a comparaţiilor din istoria ştiinţei. Aprecierile istorice de pe poziţii pe deplin cucerite — din punctul de vedere al unei teorii univoc închegate — ar cîştiga în claritate, dar şi-ar pierde din valoarea euristică.

Din acest punct de vedere prezintă mult interes aprecierea istorică a ideii *isotahiei*, exprimată de Epicur, adică ideea vitezei egale a mişcărilor elementare şi ideea caracterului discret al spaţiului-timp, legată de aceasta.

În scrisoarea către Herodot[1], Epicur spune că atomii se mişcă cu aceeaşi viteză atunci cînd nu acţionează nimic împotriva lor. Această viteză este finită, deşi foarte mare. Epicur o compară cu repeziciunea gîndirii („. . . atomul va avea o mişcare cu repeziciunea gîndirii . . ."). Atomul se mişcă cu această viteză, dacă nimic nu-i împiedică mişcarea. Dar şi după ciocnire, el se mişcă cu aceeaşi „viteză a gîndirii", imensă, dar finită: „. . . . de asemenea, mişcarea în sus sau într-o parte în urma ciocnirilor şi mişcarea în jos în virtutea propriei greutăţi (nu vor fi mai repezi)". Viteza deplasărilor atomilor („viteza gîndirii") este accesibilă numai gîndirii. În „momentele timpului, perceptibile unui singur gînd", mişcările atomilor au aceeaşi viteză; în momentele timpului accesibile perceperii simţurilor, vitezele corpurilor sînt diferite. Trebuie să ne oprim mai amănunţit asupra acestui punct.

Epicur deosebeşte timpul discret, format din durate elementare discrete şi indivizibile, şi timpul continuu. Timpul este discret în intervalele ultramicroscopice, cum le-am spune astăzi, unde perceperea mişcării prin simţuri este imposibilă. Să considerăm mişcarea în decursul unui interval de timp foarte mic, dar accesibil încă percepţiei senzoriale, cu alte cuvinte în cursul unui interval de timp continuu mic. Un corp format din atomi se mişcă în decursul acestui timp încă continuu într-o aceeaşi direcţie. Noi nu percepem mişcările indi-

[1] Lucreţiu, *Despre natura lucrurilor*, ed. rusă cit., vol. II, p. 547.

viduale, ci percepem numai rezultatul de ansamblu al unei mulțimi de mișcări. Să micșorăm acum intervalul de timp în cursul căruia ne reprezentăm mișcarea și să depășim limitele senzației directe, care nu prinde decît rezultatul unui mare număr de mișcări.

Acum avem în față diversele mișcări elementare ale atomilor, pe care nu le percepe decît gîndirea. Aceste mișcări elementare ale atomilor au căpătat denumirea de „cineme" și au loc cu o viteză absolută constantă; în schimb, deplasările elementare sînt orientate în direcțiile cele mai diferite chiar dacă macroscopic ele apar ca o mișcare într-o singură direcție. Epicur spune că: „... chiar în cea mai mică perioadă de timp continuu, atomii din corpurile compuse se mișcă spre un același loc..."[1]. Așadar, Epicur înțelege prin timp continuu, timpul macroscopic; din cuvintele lui Epicur se vede limpede că el deosebește timpul perceput de simțuri, care sesizează numai procesul de masă al mișcării, și timpul microscopic, imperceptibil pentru simțuri și măsurat în cineme, deplasări individuale ale atomilor cu o viteză colosală, invariabilă, care poate fi cuprinsă numai cu gîndirea. Evident, o mișcare macroscopică se compune din mișcări elementare, indivizibile, microscopice, cu viteză constantă, adică din cineme. Cum se obține însă din diversele cineme mișcarea macroscopică cu viteze diferite? Epicur subliniază realitatea ambelor tipuri de mișcări: „... adevărat este numai ceea ce observăm cu simțurile, sau percepem cu mintea prin înțelegere"[2]. Prin urmare, este reală atît mișcarea continuă, în care nu distingem senzorial diversele cineme, cît și mișcarea cu viteză constantă, adică mișcarea sub aspect microscopic, „pe care o percepem cu mintea prin înțelegere". Evident, viteza macroscopică a unui corp depinde de o anumită valoare medie a vitezei deplasărilor elementare, a cinemelor, care au o aceeași viteză absolută și direcții diferite. Dacă toate cinemele ar fi mereu paralele, atunci corpul s-ar mișca cu viteza limită, egală cu viteza absolută a cinemelor. Dacă deplasările elementare ale atomilor ar avea loc tot atît de frecvent într-o direcție ca și în direcția opusă, alt-

[1] Lucreţiu, *op. cit.*, p. 547.
[2] *Ibidem.*

fel spus, dacă cinemele s-ar echilibra, atunci mișcarea corpului macroscopic ar avea viteza nulă, adică respectivul corp nu s-ar mișca. În realitate, distribuția cinemelor după direcțiile lor în spațiu poate fi dintre cele mai diferite, ceea ce ne dă diversele viteze ale corpurilor macroscopice, de la cea nulă și pînă la viteza limită.

Se înțelege că această interpretare a isotahiei nu este o modernizare, cît timp nu-i atribuim lui Epicur răspunsuri pozitive și univoce la *problemele* care rezultau din aceste noțiuni. Problemele care reies din concepția isotahiei își puteau găsi un răspuns în condițiile reprezentării mișcării macroscopice continue drept o aproximare statistică a unei mișcări microscopice discrete, constituite din cineme indivizibile. În adevăr, dat fiind că mișcarea percepută senzorial este continuă și se produce cu viteze diferite, iar mișcarea imperceptibilă senzorial este discretă, formată din cineme și cu viteza constantă, se pune întrebarea în ce fel poate fi obținută prima din cea de-a doua, altfel decît printr-o corelare diversă a cinemelor, orientate într-un sens și în cel contrar. La Epicur nu găsim noțiunea de probabilitate în genere, nici pe cea de probabilitate a diverselor cineme luate în particular, nici reprezentarea de ansamble mari, a căror comportare corespunde probabilității unor procese elementare. De aceea, el nu ne dă o delimitare obiectivă a intervalelor de timp microscopice și macroscopice. Epicur le definește pe cele dintîi ca fiind accesibile gîndirii, iar pe celelalte ca fiind perceptibile senzorial. Însă răspunsul actual la problema pe care o pune teoria cinemelor și a isotahiei poate lua ca punct de plecare existența legilor statistice macroscopice: deplasarea macroscopică a unui corp este determinată de distribuția spațială a probabilității cinemelor. Dacă probabilitatea cinemelor este distribuită peste tot simetric în spațiu, adică deplasarea elementară a unui atom într-un sens este tot atît de probabilă ca și deplasarea sa într-un sens contrar atunci, după un mare număr de intervale de timp elementare, cinemele se vor echilibra reciproc și corpul va ajunge în apropierea punctului de plecare. Dacă însă probabilitățile cinemelor sînt distribuite asimetric în spațiu, adică mișcările elementare ale atomilor într-un sens sînt mai probabile

decît în sensul opus, atunci, ca urmare a unui mare număr de mişcări elementare, corpul se va deplasa în sensul probabilităţii mai mari. Evident, viteza macroscopică a corpului va corespunde gradului de asimetrie a probabilităţilor.

La Epicur nu găsim *un astfel* de răspuns la problema pe care o pune concepţia isotahiei, nu găsim o înţelegere statistic-probabilistă a trecerii de la mişcarea discretă la cea continuă. Dar este în afară de orice îndoială că Epicur a făcut distincţia între lumea microscopică a cinemelor discrete isotahice şi lumea macroscopică a mişcărilor continue. Acest lucru este exprimat într-o formă foarte clară de Lucreţiu, care explică de ce pot corpurile mari să fie imobile, deşi atomii din care sînt constituite se mişcă. În esenţă, este vorba despre un exemplu particular de viteză macroscopică, diferită de viteza constantă a deplasărilor elementare, adică viteza nulă. Urmîndu-l pe Epicur, Lucreţiu deosebeşte viteza macroscopică a mişcărilor atomilor şi viteza macroscopică a îngrămădirilor mari, în care mişcările individuale sînt neesenţiale şi nu pot fi puse în evidenţă printr-o observaţie. El descrie o turmă de oi. Mişcările variate ale diferitelor animale se contopesc în tabloul de ansamblu al turmei imobile. Acest exemplu poate ilustra şi înţelegerea statistică a mişcării macroscopice. Întreaga turmă se deplasează, dacă probabilitatea deplasărilor fiecărui animal este asimetrică — trecerile într-o direcţie fiind mai probabile decît într-o alta. Atunci turma se va mişca în direcţia probabilităţii mai mari a deplasărilor aleatorii individuale. Viteza acestei mişcări comune a turmei va fi proporţională cu măsura asimetriei probabilităţilor deplasărilor individuale. La Lucreţiu însă, exemplul cu turma ilustrează deosebirea *calitativă* şi subiectivă dintre mişcarea continuă sau repausul, percepute cu simţurile, şi mişcarea discretă, accesibilă numai gîndirii.

Vom cita fragmentul respectiv, care va rămîne pentru totdeauna o capodoperă inegalabilă de înţelegere artistică şi filozofică a lumii:

„În legătură cu-aceasta, de loc să nu fii în uimire
Că elementele prime, deşi-s necurmat în mişcare,
— Dînd la o parte mişcările proprii făcute de corpuri —,
Totuşi cîtimea lor pare că stă-n neclintită odihnă;

Căci, prin micime, semințele scapă puterilor noastre
De-a le prinde sub simțuri: și iată cum, în neputință
Să le observi, își dosesc de asemenea însăși mișcarea,
Lucru ușor, cînd chiar corpuri ce nu pot să scape vederii,
Își tăinuiesc al lor mers cînd departe se află în spațiu:
Colo pe dealu-nsorit, cînd în boabe de rouă-aninate
Mii mărgărinte scînteie, păscînd înverzitele pajiști,
Oile-agale pășesc îmbiate de fragede ierburi,
Iar mielușeii sătui burdușindu-se veseli se joacă.
Dar de departe acestea ce nedeslușit se arată!
Parcă-s o pată alburie oprită pe verdele colnic.
Apoi, cînd mari legiuni își ocupă locul în goană,
Dînd pe cîmpia întinsă privelиștea luptei pornite,
Mii fulgerări de oțele spre cerul înalt se ridică,
Jur împrejur tot pămîntul sclipește de luciul arămii,
Pașii ostașilor sprinteni îl fac să răsune de tropot,
Munții auesc și trimit pîn-la stelele bolții ecoul,
Sboară în jur călărimea și trece-ntr-o clipă prin cîmpuri
Cutremurate adînc de avîntul galopului vajnic.
Totuși se află un loc colo sus, pe o culme, de unde
Totul îți pare că stă, iar pe cîmp s-odihnește un fulger"[1].

În capitolul XVII, vom reveni la legătura dintre diversele viteze macroscopice ale obiectelor și viteza unică a rătăcirilor aleatorii ale particulelor elementare, rătăciri legate de procese de transmutație nemecanice.

A existat oare în atomistica antică vreo aluzie la natura nemecanică a cinemelor?

Noțiunea de „natură mecanică" necesită lămuriri. Probabil că acum putem da acestui termen o semnificație mai clară decît în timpul cînd ideea naturii mecanice a proceselor elementare părea ceva de la sine înțeles. Dacă vom înțelege prin mecanică teoria deplasării unor obiecte fizice identice cu ele însele (și tocmai această definiție îmbrățișează atît mecanica clasică, cît și pe cea relativistă și pe cea cuantică), atunci ideea naturii nemecanice a cinemelor va pune sub semn de întrebare identitatea atomului cu el însuși în cazul unei deplasări a acestuia la o distanță elementară și indivizibilă mai departe, în cursul unui interval de timp elementar și indivizibil mai departe.

A apărut oare acest semn de întrebare la atomiștii

[1] Lucrețiu, *Poemul naturii*, ed. rom. cit., pp. 38—39.

antichității? A existat oare la ei o reprezentare, fie ea oricît de neclară, despre deplasarea atomului ca regenerare a acestuia, adică dispariția dintr-o celulă spațială și apariția într-o alta, vecină?

Se pare că la Epicur, poate chiar și mai devreme, a apărut o îndoială în privința identității cu sine însuși a atomului în mișcare, precum și ideea unei regenerări a acestuia. Alexandru din Afrodisia, comentatorul lui Aristotel, scrie despre epicurieni: „Afirmînd că și mărimea, și mișcarea, și timpul sînt constituite din particule indivizibile, ei afirmă de asemenea că un corp în mișcare se mișcă în tot lungul unei mărimi constituite din particule indivizibile, iar în fiecare dintre particulele indivizibile ce fac parte din ea nu avem mișcare, ci numai rezultat al mișcării"[1].

La o distanță elementară și în decursul unei durate elementare „nu avem mișcare, ci numai rezultat al mișcării". Aceasta înseamnă că atomul, care ocupă o celulă elementară a spațiului, nu se mișcă spre celula vecină, ci dispare din prima celulă și apare într-a doua în cursul unei durate elementare. Rezultatul coincide cu rezultatul mișcării dintr-o celulă într-alta, cu o viteză egală cu cîtul dintre distanța elementară și durata elementară.

Este greu să spunem dacă fragmentul lui Alexandru din Afrodisia este în concordanță deplină cu vederile epicurienilor. Comentatorul scria la începutul secolului al II-lea e. n., el trecuse prin școala deducerii consecvente a unei concluzii logice din supoziții adoptate. La epicurieni, care admiteau neunivocitatea principială a explicațiilor fizice, legătura logică dintre discontinuitatea spațiului și a timpului și regenerarea atomului în celula vecină putea să nu se realizeze într-o reprezentare clară.

La Epicur, în scrisoarea către Herodot, este exprimată ideea contopirii macroscopice a diverselor imagini discrete într-o imagine cu mișcare continuă[2]. La Lucrețiu, există o reprezentare analogă, asemănătoare

---

[1] Vezi S. Lurie, *Ocerki iz istorii anticinoi nauki, (Studii asupra științei antice)* M. L., 1947, p. 181.

[2] Lucrețiu, *Despre natura lucrurilor*, ed. rusă cit., vol. II, pp. 537—538.

cu schema mișcării continue pe un ecran în cazul unei succesiuni rapide a unor cadre discrete. Este vorba despre mecanismul văzului: vedem o imagine care se mișcă continuu în urma impresiilor discrete contopite, pe care ni le dau imagini ce apar și dispar:

„... cînd imaginea-ntîia se șterge, cu altfel de stare
Alta se naște, dar credem că-ntîia mișcarea își schimbă"[1].

Vedem iarăși că antichității i-au fost accesibile numai criteriile subiective ale continuității macroscopice și ale discontinuității microscopice ale mișcării, timpului și spațiului. Dar aceste criterii constituiau o problemă adresată viitorului, o problemă care-și poate găsi răspunsul în știința din zilele noastre.

---

[1] Lucrețiu, *Poemul naturii*, ed. rom. cit., p. 108.

CAPITOLUL III

IDEILE LUI ARISTOTEL ÎN DOMENIUL STUDIULUI NATURII

Am făcut o incursiune adîncă în viitor, de aproape patru secole, [pînă la Alexandru din Afrodisia] pentru a prezenta atomistica antică în forma ei cea mai completă. Dar ideile lui Democrit au trebuit să mai aştepte multe secole, pînă cînd au putut deveni fundamentul unei cercetări sistematice a faptelor. În perioada elenistică la Epicur, şi în Roma la Lucreţiu, atomistica a rămas o intuiţie din domeniul filozofiei naturii. Or, încă în secolul al IV-lea î.e.n., adică în perioada imediat următoare secolului lui Democrit, s-a produs o lărgire sensibilă a sferei observaţiilor empirice. Însuşi caracterul gîndirii ştiinţifice s-a schimbat în comparaţie cu cel din secolul al V-lea. Noul stil al cercetării ştiinţifice, strîns legat de o observare mai amplă şi cîteodată mai sistematică a naturii, s-a întrupat într-o altă concepţie despre lume, care pleca de la continuitatea materiei. Această concepţie nu mai explica desfăşurarea proceselor din natură prin interacţiuni mecanice locale dintre părţile discrete ale unei materii unice şi lipsite de calitate, care se deplasau una în raport cu cealaltă în spaţiul infinit şi omogen. Noua imagine a lumii considera procesele locale, deci care se produceau într-un punct dat, plecînd de la structura Universului în ansamblul său, de la legi integrale ale Cosmosului. Ea explica mersul proceselor locale prin acţiunea rezultantă pe care acestea o exercită asupra structurii Universului.

Această concepție atribuia materiei trăsături calitative distincte, obiective, precum și transformări calitative. Ea a înglobat aceste transformări, precum și distrugerea și apariția obiectelor fizice, împreună cu deplasarea, în noțiunea de mișcare. Mai departe, concepția de care ne ocupăm a respins existența vidului și a renunțat la omogenitatea și la infinitatea spațiului cosmic. Ea admitea posibilitatea fragmentării infinite a substanței. Acest tablou al lumii a fost expus în tratatele lui Aristotel.

Aristotel s-a născut în anul 384 î.e.n., la Stagira. La vîrsta de șaptesprezece ani a plecat la Atena și, timp de douăzeci de ani, pînă la moartea lui Platon (347 î.e.n.), a studiat la Academia platonică. Istoricii au fost tentați adeseori să-i compare pe cei doi mari gînditori din secolul al IV-lea î.e.n., Platon și Aristotel. Platon, cufundîndu-se în speculații abstracte și în alegorii romantice, îi îndemna pe discipolii săi să părăsească experiența reală a vieții și să se îndepărteze în imperiul gîndirii pure, care „își amintește" doar de prototipurile ideale ale lumii sensibile, adică acelea care preced existența reală. Figurii lui Platon i se opune geniul științific al lui Aristotel, orientat spre experiența reală, cu îmbinarea sa armonioasă de analiză logică abstractă și de descriere în detaliu a naturii. Deosebirea de stiluri în creația științifică corespunde deosebirii din concepția despre lume și, în ultimă instanță, deosebirii dintre orientarea socială a lui Platon, reprezentant al reacțiunii aristocratice, și cea a lui Aristotel, partizan al consolidării cercurilor sclavagiste. Aristotel s-a despărțit de Platon, luînd poziție împotriva sistemului idealismului obiectiv platonic. Celebra formulă aristotelică pentru această ruptură ideologică — „Platon îmi este prieten, dar adevărul e un prieten mai mare" — nu exprima numai o negare a ideilor gnoseologice ale lui Platon, ci și o îndepărtare a cugetării grecești de la construirea pur logică a noțiunilor.

Părăsind Atena după moartea lui Platon, Aristotel a trăit pe insula Lesbos, iar apoi în Macedonia, unde a fost învățătorul moștenitorului tronului, viitorul creator al unui mare imperiu. Numele lui Alexandru Macedon și al lui Aristotel sînt adeseori puse alături: primul a supus lumea dominației politice grecești, al doilea a

Această concepție atribuia materiei trăsături calitative distincte, obiective, precum și transformări calitative. Ea a înglobat aceste transformări, precum și distrugerea și apariția obiectelor fizice, împreună cu deplasarea, în noțiunea de mișcare. Mai departe, concepția de care ne ocupăm a respins existența vidului și a renunțat la omogenitatea și la infinitatea spațiului cosmic. Ea admitea posibilitatea fragmentării infinite a substanței. Acest tablou al lumii a fost expus în tratatele lui Aristotel.

Aristotel s-a născut în anul 384 î.e.n., la Stagira. La vîrsta de șaptesprezece ani a plecat la Atena și, timp de douăzeci de ani, pînă la moartea lui Platon (347 î.e.n.), a studiat la Academia platonică. Istoricii au fost tentați adeseori să-i compare pe cei doi mari gînditori din secolul al IV-lea î.e.n., Platon și Aristotel. Platon, cufundîndu-se în speculații abstracte și în alegorii romantice, îi îndemna pe discipolii săi să părăsească experiența reală a vieții și să se îndepărteze în imperiul gîndirii pure, care „își amintește" doar de prototipurile ideale ale lumii sensibile, adică acelea care preced existența reală. Figurii lui Platon i se opune geniul științific al lui Aristotel, orientat spre experiența reală, cu îmbinarea sa armonioasă de analiză logică abstractă și de descriere în detaliu a naturii. Deosebirea de stiluri în creația științifică corespunde deosebirii din concepția despre lume și, în ultimă instanță, deosebirii dintre orientarea socială a lui Platon, reprezentant al reacțiunii aristocratice, și cea a lui Aristotel, partizan al consolidării cercurilor sclavagiste. Aristotel s-a despărțit de Platon, luînd poziție împotriva sistemului idealismului obiectiv platonic. Celebra formulă aristotelică pentru această ruptură ideologică — „Platon îmi este prieten, dar adevărul e un prieten mai mare" — nu exprima numai o negare a ideilor gnoseologice ale lui Platon, ci și o îndepărtare a cugetării grecești de la construirea pur logică a noțiunilor.

Părăsind Atena după moartea lui Platon, Aristotel a trăit pe insula Lesbos, iar apoi în Macedonia, unde a fost învățătorul moștenitorului tronului, viitorul creator al unui mare imperiu. Numele lui Alexandru Macedon și al lui Aristotel sînt adeseori puse alături: primul a supus lumea dominației politice grecești, al doilea a

supus-o gîndirii greceşti. Marx a spus că Aristotel este Alexandru Macedon al filozofiei greceşti[1]. În crearea imperiului lui Alexandru Macedon şi în răspîndirea rapidă a ideilor lui Aristotel, s-au manifestat, în ultimă analiză, dezvoltarea şi criza incipientă a economiei sclavagiste, precum şi înflorirea exterioară a Greciei, care a cucerit noi teritorii fertile şi mase de sclavi, în proporţii incomparabile cu cele din trecut, şi a introdus în circulaţia economică comorile regilor perşi.

În anul 335 î.e.n., Aristotel s-a întors la Atena şi a creat o şcoală filozofică în Liceu — un edificiu public înconjurat de un parc umbros, cu un loc special pentru plimbări (*peripatos*, termen de la care adepţii lui Aristotel au primit numele de peripateticieni).

După moartea lui Alexandru Macedon (323 î.e.n.), Aristotel nu a mai putut rămîne la Atena, pentru „a nu suscita o a doua crimă — după moartea lui Socrate — împotriva filozofiei", cum s-a exprimat el. Aristotel a fugit la Chalcis, iar în anul următor 322 î.e.n., a murit fără a-şi fi dus la îndeplinire numeroase planuri ştiinţifice noi.

Tot ce se cunoaşte despre viaţa lui Aristotel concordă cu chipul care se desprinde din textele scrierilor sale. Intereselor lui ştiinţifice — vii, multilaterale, profund terestre — felului caracteristic în care înţelege natura — parcă „pentru prima dată" şi, în acest sens, într-un mod mereu tineresc — le este străină tendinţa spre definiţii încremenite. Geniul profund dialectic al lui Aristotel a putut să creeze o imagine ştiinţifică a lumii, al cărei conţinut fundamental este mişcarea vie a materiei, cuprinzînd transformările calitative cu toate contradicţiile care îi sînt inerente.

Moştenirea ştiinţifică a lui Aristotel constă din numeroase lucrări de logică (*Organon*), filozofie (*Metafizica* etc.), studiul naturii (*Fizica, Despre cer, Istoria animalelor* şi multe altele), psihologie, istorie, estetică, etică, politică etc.

Deoarece abordăm creaţia lui Aristotel din punctul de vedere al istoriei generale a ştiinţelor naturii, vrem să începem cu concepţiile sale din domeniul biologiei. La nici unul dintre gînditorii antichităţii, rădăcinile bio-

[1] Vezi K. Marx—F. Engels, *op. cit.*, p. 29.

logice ale ideilor fizice nu au fost atît de vădite ca la Aristotel. Este extrem de semnificativă deosebirea dintre fundamentarea empirică a concepțiilor biologice ale lui Aristotel și construcția logică aprioriică a *Fizicii*. Pe baza unor date amănunțite despre ontogeneza și despre răspîndirea geografică a animalelor și a plantelor, Aristotel formulează unele noțiuni generale. Le întîlnim curînd în *Fizică*, unde sînt introduse apriori și sînt legate numai într-o măsură foarte mică de rezultate ale unor observații. Nu este vorba despre o asimilare a legilor fizice celor biologice, ci despre tratarea fenomenelor fizice legate de noțiuni care s-au dezvoltat istoric din studiul naturii vii.

În istoria științei, apropierea legilor fizice de cele biologice a jucat întotdeauna un rol extrem de complex și contradictoriu. De această apropiere au fost legate foarte multe flori sterpe ale idealismului, însă ele au crescut „... pe copacul viu al cunoașterii omului, care este vie, rodnică, adevărată, viguroasă, atotputernică, obiectivă, absolută"[1]. Dacă vom considera rezultatele pozitive ale apropierii noțiunilor fizice și a celor biologice, începînd cu hilozoismul (însuflețirea întregii materii) primitiv al gînditorilor greci și pînă la introducerea în fizică a unor legi statistice analoge celor descoperite în studiul evoluției organice, vedem că această apropiere a fost punctul de sprijin al unor concepții nemecanice, care au precedat istoric (hilozoismul) concepția mecanicistă asupra lumii, sau au impus restricții concepției mecaniciste asupra lumii.

La Aristotel noțiunile nemecanice de mișcare calitativă și substanțială și de obiectivitate a deosebirilor calitative s-au cristalizat în strînsă legătură cu cercetările biologice. Cine se familiarizează cu lucrările de biologie ale lui Aristotel, mai ales cu cele de zoologie, simte limpede rezultatele noului stil al cercetării științifice, care a pătruns în gîndirea grecească odată cu Aristotel. Am arătat mai sus, că Aristotel, mare maestru al analizei logice, a pus bazele studiului sistematic și amplu al faptelor — pe cît era posibil atunci. În lucrările sale de zoologie, Aristotel vorbește amănunțit despre disecția unor cadavre de animale, descrie desco-

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 38, p. 367.

perirea ovarului la stridie, a celei de-a treia pleoape la păsări, a ochilor la cîrtiță, a organelor sunetului la greier etc. Aristotel trece la condițiile de viață ale animalelor, vorbește despre zborurile păsărilor, despre viața viespilor și a bondarilor, despre păianjenii care-și transportă larvele. Și pretutindeni, un uimitor spirit de observație și o și mai uimitoare amploare a observațiilor. Observațiile proprii alternează cu informații extrase din relatări, uneori destul de fanteziste. Aristotel povestește despre zimbri, cămile, maimuțe, și în această privință însuși textul ne face să ne amintim de împrejurările istorice, de expansiunea militară și politică, de campaniile lui Alexandru Macedon, care au lărgit orizontul geografic, etnografic și biologic al grecilor. Situația istorică a favorizat dezvoltarea ideilor despre varietatea naturii vii, despre deosebirile dintre organismele care populează regiuni atît de îndepărtate una de alta, cum sînt: India, Asia Centrală, Mesopotamia, Iranul, Africa de Nord și Europa meridională, care au devenit în secolul al IV-lea părți ale unui imperiu unic. În această perioadă, s-au elucidat tot mai mult deosebirea și asemănarea dintre structurile anatomice ale animalelor și concordanța dintre caracterele speciilor care populează diferitele țări și condițiile naturale din aceste țări. Aristotel a creat anatomia comparată. Paralelele și analogiile pe care le face, comparînd caracterele anatomice ale animalelor și ale plantelor, par uneori să aparțină epocii moderne. Firește, în analogiile lui Aristotel se găsesc destule construcții naive. El consideră planta drept un animal răsturnat, cu gura în sol. Alături de aceste apropieri, nedetaliate, găsim în *Istoria animalelor*, și în alte scrieri ale lui Aristotel, multe generalizări întemeiate pe un studiu cu adevărat minuțios și sistematic al anatomiei comparate. Opera lui Aristotel nu este numai o sinteză a științei grecești din secolele al VI-lea—IV-lea î.e.n., cu încercările ei de cuprindere integrală și nediferențiată a lumii, ci și trecerea la știința elenistică, în care s-au dezvoltat ramuri diferențiate ale cunoașterii.

Un rezultat al cercetărilor de anatomie comparată a fost ideea corelației, mai exact, un analog timpuriu al acestei idei, care aparține secolului al XIX-lea. Aristotel știa că un aparat dentar continuu se întîlnește la ani-

male care nu au coarne, că incisivii în maxilarul superior sînt proprii rumegătoarelor cu stomac compus, precum și o mulțime de alte fapte, pe care le generalizează în formula: „... modificarea unui organ determină modificări ale altor organe".

Condițiile istorice care au permis științei antice să sesizeze, prin intermediul lui Aristotel, deosebirile și asemănările dintre specii în distribuția lor spațială, excludeau cercetarea variabilității în timp a formelor vii. În antichitate, ideea evoluției nu putea depăși cadrul unor intuiții filozofice. Anticii nu aveau cunoștințe despre o selecție artificială sistematică, nu dispuneau nici de o cronică paleontologică. Ei aveau însă un alt izvor empiric pentru ideea evoluționistă — embriogeneza; dar aceasta, ca atare, nu putea să conducă la o reprezentare evoluționistă întemeiată cît de cît pe fapte. Aristotel a cercetat oul de sub cloșcă, începînd din a doua zi a clocitului și pînă la apariția puiului. El urmărește modificările embrionului, compară dezvoltarea sa cu dezvoltarea embrionului uman și stabilește asemănarea dintre căile embriogenezei la om și la animale. În general, Aristotel descrie relativ amănunțit ontogeneza, dar el nu știa nimic sigur despre filogeneză. Bineînțeles, îi erau necunoscute și cauzele fiziologice nemijlocite și, cu atît mai mult, cele chimice și fizice care guvernează direct desfășurarea evoluției ontogenetice a țesuturilor.

Pentru ideile lui Aristotel despre forțele motrice ale ontogenezei sînt caracteristice următoarele: Aristotel caută cauzele mecanice ale denaturării ontogenezei normale, dar însăși ontogeneza normală este definită la el drept „cauză finală".

Cauza finală este una dintre noțiunile fundamentale ale filozofiei lui Aristotel. Izvoarele empirice ale acestei noțiuni trebuie căutate tocmai în biologie, în tabloul adaptării organismelor la condițiile în care trăiesc, în tabloul aparentei finalități a existenței. În imaginea aristotelică a lumii, întregul Univers și, în primul rînd, cinematica sferelor cosmice se supuneau unor cauze finale, însă această noțiune era aplicată Cosmosului (mai exact, Cosmosul îi era subordonat) pe cale aprioric, printr-o mare încordare a gîndirii filozofice. În

schimb, în biologie cauzele finale se impuneau de la sine, ele reflectînd o familiarizare cu deosebirile spaţiale din lumea biologică, evidente empiric. Această familiarizare însă era însoţită de cunoştinţe slabe despre evoluţia în timp a vieţii organice şi de o totală necunoaştere a legilor fiziologice şi fizico-chimice care guvernează dezvoltarea substanţei vii. În condiţiile lipsei unor cunoştinţe pozitive despre filogeneză şi ale totalei imposibilităţi de a urmări factorii fiziologici şi, cu atît mai mult, pe cei fizico-chimici ai eredităţii şi ai variabilităţii organismelor, noţiunea de cauză finală apărea în mod firesc. Aristotel cercetează răspîndirea geografică a speciilor animale şi vegetale, stabileşte legătura deosebirilor dintre specii cu condiţiile mediului natural. Mai departe, el studiază ontogeneza, care transformă embrionul slab diferenţiat într-un organism adult, adaptat la mediu. Cu acest prilej, el ajunge la ideea că stadiile iniţiale ale procesului sînt determinate de rezultatul său final.

În secolul al IV-lea î.e.n., cînd s-a conturat trecerea de la intuiţiile iniţiale ale filozofiei naturii la cercetarea amănunţită a naturii, s-a simţit nevoia unui tablou al relaţiilor cauzale din natură, mult mai detaliat decît cel din trecut. Tabloul cauzal, unde fiecare eveniment dat depinde numai de unul care-l precede în timp, nu putea fi însă detaliat pe baza materialelor empirice care conţineau multe date despre ontogeneza şi adaptarea speciilor din natură, dar foarte puţine date despre filogeneza lor şi absolut nimic despre legile fiziologice ale dezvoltării ţesuturilor.

Ideea cauzei finale nu este încă teleologie, ci doar o primă constatare: stadiile embriogenezei se succed unul după altul, încît, pînă la urmă, este asigurată dezvoltarea unui organism adaptat la condiţiile de existenţă ale speciei respective. Problema era doar formulată, însă ştiinţa căuta şi încă nu găsea o explicaţie, producîndu-se astfel o situaţie despre care Lenin scria: limita cunoaşterii este absolutizată, orice segment de curbă se transformă într-o dreaptă care duce la teleologie şi, în ultimă instanţă, la teologie[1].

---

[1] Vezi V. I. Lenin, *Opere*, vol. 38, p. 367.

Aristotel a extins la Univers noțiunea de cauze finale, trecînd de la constatarea inițială la o concepție teleologică asupra lumii, care, la el, mai păstrează caracterul unei tratări și al unei căutări incerte, însă vii, dar care a devenit o dogmă fermă la peripateticienii medievali.

„Cauzele finale" ce figurează în lucrările științifice ale lui Aristotel sînt foarte departe de „cauzele finale" teleologice ale aristotelismului dogmatizat. În sine ideea că mișcările locale sînt determinate de rezultatul lor integral nu este teleologică. Amintim, în primul rînd, că la Aristotel rezultatul integral al unor mișcări locale nu le urmează cîtuși de puțin în timp. Existența speciei (și invariabilitatea ei, căci Aristotel nu știa și nici nu putea să știe nimic clar despre filogeneză) este rezultatul integral al diverselor cicluri ontogenetice. Răspîndirea determinată, necesară, „naturală" a formelor pe suprafața Pămîntului și concordanța dintre această răspîndire și caracterele „naturale" ale speciilor determină curgerea ciclurilor ontogenetice. Dar răspîndirea naturală a speciilor și caracterele lor naturale normale, care reprezintă cauza finală a ontogenezei, *o preced* pe aceasta în calitate de „cauză eficientă". Diversele cicluri ontogenetice, care preced în timp rezultatul determinant, nu încalcă încă principiul cauzalității într-o accepție largă. Cauza finală a oricărui ciclu ontogenetic este existența organismului dezvoltat, cu caractere specifice normale, corespunzătoare condițiilor în care trăiește specia. Dar un organism similar există anterior procesului ontogenetic considerat, „cauza finală" acționează deci prin mecanismul eredității, prin „cauzele eficiente", și nu contrazice cîtuși de puțin dependența fiecărui stadiu al ontogenezei de stadiile precedente. Numai că Aristotel și contemporanii săi nu puteau ști nimic precis despre „cauzele eficiente" ale ontogenezei.

În construcțiile sale fizice și cosmologice, Aristotel extinde noțiunea de „cauze finale" la mișcarea tuturor corpurilor din natură. Dacă lăsăm de o parte concluziile cu adevărat teleologice ale lui Aristotel (și sîntem obligați să procedăm astfel, deoarece „spira cunoașterii" nu coincide cu absolutizarea sa subiectivă și nelegitimă), vedem că în cosmologie noțiunea de „cauză fi-

nală" înseamnă, în sine, doar existența unei anumite legi cosmice integrale, care determină procesele fizice locale.

Am vorbit mai sus despre rădăcinile biologice ale ideii cauzelor finale. Extinderea acestei idei la Cosmos nu a fost la Aristotel o generalizare pur logică. Ea continua o anumită tradiție a filozofiei antice și era legată, totodată, de caracterul mecanicii din secolele al V-lea și al IV-lea.

Noțiunea de cauze finale este legată, printre altele, de relația dintre dinamică și statică, specifică pentru știința antică. Problemele dinamice, calculul mișcării corpurilor erau reduse la probleme de statică, la calculul condițiilor de echilibru. Am mai vorbit despre cauzele acestei relații dintre dinamică și statică. Proiectarea edificiilor, a noilor nave etc. impunea rezolvarea sistematică a unor probleme de statică, în timp ce procesele de producție, atît în construcții cît și în meșteșuguri, erau legate de o tehnică relativ imobilă și primitivă și nu-i adresau mecanicii cereri independente.

Reducerea problemelor de dinamică la probleme de statică oferea o anumită schemă inițială pentru cosmologie. Mișcarea este orientată spre starea de echilibru și este determinată de rezultat: echilibrul sistemului. Fără o astfel de concepție nu s-ar fi construit o schemă de Univers ordonat, unde toate corpurile sînt dispuse într-un mod natural. Această imagine integrală era rezultatul sintezei unor analogii biologice cu ideea mecanică de echilibru, ca definind rezultatul mișcării.

Pentru Aristotel, orice mișcare are loc de la ceva spre ceva. Astfel se prezintă dezvoltarea unui organism și tot astfel deplasarea unui corp. Deplasarea unui corp este determinată de starea care precede mișcarea, de exemplu, de faptul că acest corp se află în afara locului său natural în Univers, și de rezultatul mișcării, adică aflarea corpului în locul său natural. Mișcările forțate ale corpurilor sînt determinate și ele, în ultimă instanță, pe baza stărilor lor: cea inițială și cea finală. Dacă, în urma mișcării, corpul ajunge într-un loc care nu-i este propriu ca loc natural, situația determină o acțiune exterioară *(impetus)* necesară pentru mișcarea și traiectoria corpului.

Universul lui Aristotel este finit. În exteriorul lui, dincolo de sfera stelelor fixe, nu există nici materie, nici vid. Mișcările aparente ale corpurilor cerești se explică prin viteza de revoluție diferită a sferelor concentrice pe care se află acestea. Sfera Lunii, cea mai apropiată de Pămînt, desparte lumea supralunară a mișcărilor naturale circulare perfecte ale corpurilor eterice de lumea sublunară. În lumea sublunară, mișcările naturale ale corpurilor grele sînt îndreptate spre locul lor firesc — centrul Cosmosului. În acest centru este situat Pămîntul.

Pentru Univers, în ansamblul său, mișcările părților sînt determinate de configurația lor naturală și de condițiile inițiale. Aristotel nu vorbește niciodată despre starea de mișcare la un moment dat și într-un punct dat, determinată de starea sa din momentul precedent și din punctul precedent. Mișcarea se produce de la ceva spre ceva, și acești „ceva" determină mișcarea. În problemele particulare de dinamică, acești „ceva" sînt stările de echilibru, iar în cosmologie rolul lor revine configurației naturale a Universului.

Mișcarea unui corp, de exemplu mișcarea unei particule, poate fi reprezentată numai în două feluri diferite. Întîi, o putem reprezenta sub aspect local, considerînd mișcarea în fiecare interval dat, ca rezultat al mișcării în intervalul precedent și al acțiunilor pe care le suferă particula în intervalul respectiv. Pentru a reprezenta mai exact mișcarea unei particule care-și schimbă continuu direcția și viteza, trebuie să trecem la intervale tot mai mici, apropiindu-ne de limită: caracterizarea mișcării într-un punct. În aceasta constă *reprezentarea diferențială a mișcării.* Al doilea, putem reprezenta mișcarea considerînd-o în ansamblu, de la punctul inițial pînă la cel final, și definind-o prin caracteristica ei totală, sumară. Dacă ne sînt cunoscute numai punctul inițial și cel final, putem defini mișcarea unui corp, de exemplu, prin condiția ca ea să se desfășoare în minimum de timp, sau pe drumul cel mai scurt (această condiție definește traiectoria corpului în plan ca fiind o dreaptă), sau prin vreo altă condiție, care nu este adresată stării corpului în fiecare punct, ci rezultatului global al acestor stări. În mecanica și în cosmologia antichității se cerea numai, ca, în urma mișcării,

corpul să ajungă la locul său natural din Univers, apropiindu-se astfel, în ansamblu, de starea sa optimală, echilibrată. În prezent, principiile care definesc traiectoria unui corp sau o altă caracteristică generală a mișcării acestuia de la un punct inițial dat pînă la cel final se numesc principii integrale. În mecanica modernă, aceste principii sînt implicate în condiția valorii minime sau maxime a sumei de mărimi ce caracterizează starea particulei pe porțiuni infinit mici ale drumului ei, adică în condiția valorii maxime sau minime a unei anumite integrale. În mecanica antică, porțiunile infinit mici ale drumului particulei nu sînt luate în considerare, iar caracterizarea generală a mișcării (de exemplu, „un corp greu se mișcă spre locul său natural din centrul lumii") nu se concepe sub formă de condiție adresată sumei mărimilor care exprimă caracteristici *locale* ale mișcării. De aceea, denumirea de „reprezentare integrală" nu este aplicabilă într-o accepție precisă conținutului științei antice. Ar fi mai bine să dăm reprezentării antice denumirea de *nedescompusă*. Dar la noi nu este vorba atît despre concepțiile pozitive, cît despre problemele pe care lumea antică le-a lăsat moștenire dezvoltării științifice ulterioare. În acest sens, reprezentarea nedescompusă poate fi denumită reprezentare integrală a mișcării. Mecanica și cosmologia lui Aristotel se caracterizează prin lipsa unei înțelegeri cîtuși de puțin clare a dependenței caracteristicii rezultante, generale, nedescompuse, integrale a mișcării, de caracteristicile locale. Astăzi cunoaștem adevărata semnificație a legilor integrale și legătura lor cu procesele locale, deși nu putem defini în toate domeniile și în toate problemele mecanismul real al acțiunii legilor integrale asupra proceselor locale. Pentru rezolvarea principială a acestei probleme, au avut o importanță de prim rang descoperirile științifice ale secolului al XIX-lea, îndeosebi descoperirea selecției naturale. Rezervîndu-ne pentru viitor o analiză mai amănunțită a acestei descoperiri, vom menționa acum următoarele.

Vom face distincție, pe de o parte, între legile *microscopice*, cărora li se supun direct procesele elementare, de exemplu mișcarea particulelor într-un punct dat, sau variațiile aleatorii din structura unor organisme individuale și, pe de altă parte, legile *macroscopice*,

cărora li se supun rezultatele unui mare număr de procese elementare. Tabloul imobilității macroscopice a turmei, în condițiile mobilității microscopice a elementelor sale (diversele animale), pe care ni-l zugrăvește Lucrețiu, ar putea servi drept prototip calitativ al acestei delimitări. Legile macroscopice au un caracter statistic, ele determină ce procese individuale anume prezintă probabilitatea maximă de a acționa asupra rezultatelor globale ale unui mare număr de astfel de procese. Legile macroscopice (de exemplu, concordanța filogenezei cu condițiile naturale) joacă rolul de „cauze finale". În condițiile necunoașterii „cauzei eficiente", adică a proceselor fiziologice și fizico-chimice care determină variațiile individuale din structura organismului, în condițiile necunoașterii mecanismului eredității, „cauzele finale" constituie o oarecare cerere prealabilă pentru o explicație cauzală completă. Această cerere, abordare, căutare, problemă se poate transforma într-un răspuns absolutizat, definitiv, și, ca atare, explicația cauzală integrală, dar incompletă în acest sens, se transformă în versiunea teleologică acauzală.

În evoluția organică, mecanismul de acțiune al legilor macroscopice prin selecția proceselor microscopice (variațiile individuale) a fost descoperit de către Darwin. Curînd după aceasta, au fost stabilite legile macroscopice statistice ale termodinamicii, iar apoi, în secolul al XX-lea, și cele ale electrodinamicii. Poate că legile statistice explică mecanismul principiilor integrale ale fizicii, conform cărora lumina se mișcă astfel încît timpul propagării ei de la un punct dat pînă la altul este minim, iar o particulă se mișcă în toate cazurile în așa fel încît o anumită mărime este minimă sau maximă.

Legile integrale ale mecanicii cosmice aristotelice, schema Universului ordonat cu configurație naturală — dispoziția optimală a corpurilor, cu locurile lor naturale și cu mișcările lor naturale — sînt strîns legate de concepția generală a cauzelor finale și de ideea aristotelică de substanță. Această idee constituie o nouă verigă în lanțul continuu al căutărilor unui substrat al proprietăților și al stărilor variabile, care se conservă, fiind indestructibil. La Tales și la Heraclit substratul era o anumită substanță concretă; Empedocle recunoș-

tea patru elemente concrete care nu se transformă unul în altul, iar la Democrit avem materia unitară și omogenă, constituită din atomi, care diferă între ei numai ca poziție, mărime și formă. La Aristotel, materia unică nu este opusă unor elemente concrete calitativ discernabile, ea există totdeauna sub forma determinată a unuia dintre elementele ei, sub formă de pămînt, apă, aer sau foc. Aceste forme sînt legate între ele prin treceri reciproce. În afară de acestea, există un al cincilea element, eterul, din care sînt constituite sferele cerești. Mișcarea constă din distrugerea și din apariția unor corpuri determinate, din creșterea și din micșorarea lor, din transformările calitative și din schimbarea locului lor. Aristotel distinge 1) mișcarea substanțială, adică apariția *(genesis)*, și distrugerea *(ftorà)* substanței; 2) mișcarea cantitativă, adică creșterea și diminuarea; 3) mișcarea calitativă și 4) mișcarea locală, deplasarea *(forà)*.

Ne vom opri la aceasta din urmă, adică la „mișcarea locală *(forà)*. Aproape în toate cazurile, mișcarea locală este mișcare de la „ceva" spre „ceva": fiecare mișcare are un început natural și un sfîrșit natural. Punctele care servesc drept început natural și drept sfîrșit natural al mișcării sînt evidențiate în spațiu, acesta fiind, ca atare, neomogen.

Antichitatea ajunsese deja la ideea izotropiei Universului. Izotropia sa a fost stabilită cînd s-a aflat forma sferică a Pămîntului. Înainte se credea că Pămîntul este în genere o suprafață plană, că el nu poate fi sferic, deoarece oamenii care ar trăi de cealaltă parte a Pămîntului ar cădea „în jos" de pe suprafața lui. Cugetătorii Greciei antice și-au dat seama de relativitatea noțiunilor „sus" și „jos", dar o dată cu această apropiere a științei de realitatea obiectivă a apărut ideea neomogenității spațiului. Gînditorii antichității au așezat în centrul lumii Pămîntul sferic, punînd în evidență astfel un corp de referință absolut fix care permitea să se atribuie un caracter absolut mișcărilor corpurilor ce se apropie de centrul natural sau se îndepărtează de el.

Din dinamica și din cosmologia lui Aristotel rezultă că spațiul nu este omogen în lungul dreptelor radiale care unesc sfera lunară cu Pămîntul. Locurile inițiale și finale ale corpurilor se deosebesc de celelalte locuri.

Locul unui corp pe dreapta radială este raportat la sistemul de locuri naturale care formează un sistem de referinţă privilegiat.

Problema sistemelor de referinţă privilegiate şi echivalente (nu este cazul să relevăm aici caracterul convenţional al acestei noţiuni cînd este vorba despre ştiinţa antică) rezulta dintr-o concepţie determinată a locului, care coexistă la Aristotel cu o altă concepţie.

În *Fizica* sa Aristotel defineşte locul unui corp ca suprafaţă a corpurilor vecine. Se înţelege că locul astfel definit — fără antiteză între absolut şi relativ — face ca noţiunile de sisteme privilegiate şi de sisteme echivalente să-şi piardă aici total sensul. Aici nu există în genere referinţă: pentru a spune unde se află un corp nu avem nevoie să măsurăm distanţe, să aşezăm segmente unitate, să determinăm numărul lor între corpul respectiv şi alte corpuri alese după voie sau aflate în părţi evidenţiate ale spaţiului, diferite de alte părţi. Această concepţie aristotelică a locului nu are semnificaţie metrică. Locul nu se defineşte prin distanţă, ci prin contact, prin atingere.

Aristotel are şi o altă concepţie a locului. Dacă examinăm un obiect, fără a stabili relaţiile sale cu alte obiecte, prima definiţie este suficientă: locul este suprafaţa interioară a mediului care înconjură corpul. Dacă vom considera însă relaţia obiectului cu un alt obiect (se pare că Aristotel înţelegea prin relaţie şi poziţia spaţială a corpului în raport cu alte corpuri), atunci locul va fi definit ca parte a spaţiului: „Dat fiind că o dată vorbim despre obiect, luîndu-l ca atare, altă dată în relaţia sa cu un altul, rezultă, pe de o parte, că şi locul este cel comun, în care se situează toate corpurile, iar pe de altă parte, că este un loc deosebit, cel dintîi pentru acest corp"[1].

Coincide oare locul cu forma corpului? Geometric, coincide cu forma, însă forma este frontiera corpului, pe cînd locul este frontiera mediului care îl cuprinde. Această concepţie asupra locului este practic inaplicabilă, cu toată consecvenţa ei, în primul rînd din cauza caracterului ei nemetric. Din punctul de vedere al aces-

[1] Aristotel, *Fizica*, IV, 2, 209 b, trad. în l. rusă de V. P. Karpov, M., 1936, p. 59.

tei concepții, o navă ancorată într-un rîu și spălată mereu de noi și noi șuvoaie de apă își schimbă locul, pe cînd o navă pe care o antrenează apa și-l păstrează. De aceea, Aristotel introduce o nouă definiție a locului, raportîndu-l la un corp fix și, vorbind despre imobilitatea și despre mișcarea unei corăbii în raport cu rîul, înțelege prin rîu malurile și albia. Din acest punct de vedere, locul invariabil al navei este distanța constantă dintre navă și punctele fixate de pe mal, iar mișcarea navei este variația acestei distanțe. Această concepție metrică conduce la problema sensului absolut și relativ al imobilității atribuite corpului de referință.

Căutarea unui corp de referință absolut pentru mișcările rectilinii ale corpurilor care cad pe Pămînt nu a dus la dificultăți. În căderea lor, corpurile se mișcă de la ceva spre ceva, iar acești ceva se deosebesc în mod absolut de celelalte locuri. Problema dificilă în dinamica și în cosmologia antichității era problema locului Universului în ansamblu. Acestei probleme i-au fost consacrate numeroase construcții ale comentatorilor lui Aristotel. În ele s-a cristalizat consecvent ideea neomogenității spațiului.

Comentatorii din secolele al VI-lea — al VII-lea e.n. defineau locul, raportîndu-l la dispoziția optimală a tuturor corpurilor Universului. Această dispoziție optimală înseamnă că toate corpurile se află în locurile lor naturale. Din această concepție rezultă reprezentarea unui spațiu absolut îmbrăcat peste locurile firești ale corpurilor. Criteriul mișcării în acest spațiu absolut este forța care silește un corp să se miște spre locul său natural.

Acesta este prototipul antic al neomogenității spațiului. Vedem că el constă în recunoașterea neechivalenței locurilor pe dreapta care unește centrul Universului — Pămîntul — cu sfera lunară, sau, generalizînd această concepție, cu frontierele Universului. Dacă Aristotel și comentatorii săi ar fi avut o concepție explicită asupra neomogenității spațiului, ar fi fost neomogen un spațiu „plan" fără curbură. Dimpotrivă, rolul de spațiu omogen (în același sens convențional) l-ar juca suprafețe sferice concentrice, anume locurile geometrice ale punctelor echidistante de la Pămînt. În aceste spații bidimensionale curbate, corpurile se mișcă fără a-și pă-

răsi locurile naturale şi fără a se apropia de ele; de aceea, în astfel de spaţii nu există puncte preferenţiale. Aceasta rezultă direct din ideea izotropiei Universului geocentric. Dacă traiectoriile radial convergente ale corpurilor în cădere sînt echivalente, atunci Universul posedă simetrie sferică, iar punctele echidistante de centrul Universului nu se deosebesc unul de altul în raport cu spaţiul îmbrăcat peste locurile naturale. Pe traiectoriile curbilinii nu există început natural şi sfîrşit natural al mişcării.

De aceasta este legată deosebirea dintre lumea sublunară şi cea supralunară. În lumea sublunară, corpurile sînt supuse transformărilor calitative şi substanţiale, iar în lumea supralunară corpurile sînt imuabile substanţial şi calitativ. Tocmai de aceea, nu există aici criterii substanţiale şi calitative absolute ale mişcării. Dacă un corp a apărut, a dispărut sau s-a transformat calitativ în vreun punct, atunci acest punct este evidenţiat printre celelalte. Mişcarea de la un punct evidenţiat la altul este o mişcare în spaţiul absolut, o mişcare absolută. Dacă însă corpul se mişcă fără a apărea, fără a dispărea şi fără a se transforma calitativ, atunci mişcarea sa poate fi pusă în evidenţă numai după variaţia distanţelor dintre acest corp şi altele, mişcarea are loc într-un spaţiu omogen şi este mişcare relativă. Dacă Aristotel ar fi avut noţiunea unui spaţiu opus substanţei, atunci concepţia mişcărilor circulare perfecte din lumea supralunară ar fi fost concepţia unui spaţiu curbat omogen. Mişcarea corpurilor eterice în lumea supralunară este un prototip al mişcării relative.

De ideea Universului neomogen şi a mişcării absolute sînt legate, după cum vom vedea imediat, concepţiile lui Aristotel despre spaţiu, timp, continuitate şi infinit.

Doctrina lui Aristotel despre spaţiu şi timp pleacă de la noţiunea de continuitate. O mărime continuă se caracterizează prin aceea că frontiera fiecărei părţi a acestei mărimi aparţine totodată unei alte părţi a ei. Frontiera unui segment este începutul segmentului următor, şi de aceea linia dreaptă este continuă. În conformitate cu aceasta, frontiera unei părţi dintr-o suprafaţă — o linie — aparţine părţilor vecine ale suprafeţei, iar frontiera unui corp geometric — o suprafaţă — apar-

ține și corpului vecin. O mărime continuă ca extensiune este spațiul. Timpul este o mărime continuă ca succesiune: „acum" este în contingență și cu trecutul și cu viitorul.

Spațiul lui Aristotel este o mărime continuă ce caracterizează ca întindere lumea reală și nu există independent de materie. Aristotel neagă existența vidului. Vidul nu are distincții calitative, din care cauză mișcarea unui corp în spațiul vid nu este mișcarea de la ceva spre ceva, ci o simplă variație a distanței dintre corpul considerat și corpul de referință. Vidul este un spațiu omogen în care toate punctele sînt echivalente. Prin urmare, mișcarea unui corp nu poate fi definită prin rezultatul integral, adică sosirea corpului la locul său firesc. Negarea vidului este legată la Aristotel de concepția spațiului neomogen și de noțiunea locului natural.

În *Fizica* sa, Aristotel vorbește despre mișcarea naturală ca noțiune de bază a mecanicii. Însă mișcarea naturală nu poate exista dacă toate punctele din spațiu sînt echivalente. La Aristotel nu găsim noțiunea ca atare de spațiu neomogen; neechivalența punctelor există în virtutea faptului că spațiul este umplut cu materie. În spațiul vid infinit nu ar exista părți diferite în sens absolut, nu ar exista puncte preferențiale, iar mișcarea și-ar pierde criteriul absolut.

„Dar în ce fel poate fi mișcarea de la natură, dacă nu există nici o deosebire în vid și în infinit; întrucît există infinitul, nimic nu va fi nici sus, nici jos, nici în centru, deoarece vidul nu va fi deosebire dintre sus și jos"[1].

Aristotel merge și mai departe. El își dă seama de legătura dintre noțiunea de spațiu omogen și noțiunea de mișcare continuă a unui corp nesupus la influențe dinafară. În vid, și deci în spațiul omogen, „... nimeni nu va putea spune de ce un corp pus în mișcare se va opri undeva, căci de ce s-ar opri mai curînd aici decît acolo? Prin urmare, el trebuie ori să fie în repaus, ori să se miște infinit, dacă numai nu-l va împiedica ceva mai puternic"[2].

---

[1] Aristotel, *Fizica*, IV, 8, 215 a, p. 70.

[2] *Ibidem*, IV, 8, 215 a, pp. 70—71.

Aşadar, teoria lui *impetus*, a cauzei eficiente, care întreţine mişcarea, adică fundamentul dinamicii lui Aristotel, care s-a păstrat pînă în secolul al XVII-lea, este legată de concepţia locurilor naturale, a neomogenităţii spaţiului şi a mişcării absolute (de la ceva spre ceva).

După cum nu cunoaşte un spaţiu vid, existînd independent de materie, Aristotel nu recunoaşte nici un timp care să existe independent de evenimentele produse în timp, succesoral. Timpul nu există fără transformări. „Dacă «acum» nu ar fi de fiecare dată altul, ci identic şi unic, nu ar fi timp"[1].

Dar nu putem identifica timpul cu o anumită transformare concretă, de exemplu cu schimbarea poziţiei unui corp, cu deplasarea sa.

„Transformarea şi mişcarea fiecărui corp se află numai în el însuşi, sau acolo unde se întîmplă să fie ceea ce se transformă şi se mişcă, pe cînd timpul este uniform peste tot şi în toate. Mai departe, transformarea se poate desfăşura mai repede şi mai încet, pe cînd timpul nu poate, deoarece încet şi repede sînt definite prin timp (transformarea rapidă înaintează mult într-un timp scurt, iar una înceată, puţin, într-un timp mare), pe cînd timpul nu este determinat de timp nici cantitativ, nici calitativ. Aşadar, este limpede că el nu este mişcare"[2].

Care este legătura dintre spaţiu şi mişcare, în ce fel poate timpul să fie măsura diverselor mişcări, rămînînd peste tot acelaşi?

Aristotel răspunde după cum urmează la această întrebare. Numărul care măsoară mişcarea poate fi unul şi acelaşi, cu toată deosebirea dintre mişcări, „... după cum un număr de cai poate fi egal cu un număr de cîini". Un acelaşi timp măsoară deplasări de viteză oarecare, precum şi mişcarea calitativă care se termină în aceeaşi clipă ca şi deplasările considerate. Pentru a împărţi timpul în părţi egale, este însă nevoie de o mişcare care se împarte în cicluri egale. O astfel de mişcare care se repetă uniform este cea circulară. Ea este cea care serveşte drept măsură naturală a timpului.

De ideea Universului finit şi de reprezentarea integrală a mişcării este legată concepţia aristotelică a

[1] Aristotel. *Fizica*, IV, 11, 218 b, p. 77.
[2] *Ibidem*.

infinitului. Aristotel deosebește infinitul ca rezultat al adunării și infinitul ca rezultat al împărțirii. Ne putem închipui întinderea infinită ca sumă a distanțelor finite pe care le observăm, care intră în experiența noastră. Astfel se creează reprezentarea de spațiu infinit din jurul nostru. Pe de altă parte, putem împărți un corp finit care ne este dat în experiență în părți cît vrem de mici, numărul acestor părți crescînd la infinit. Aristotel consideră greșită ideea unei mărimi infinit mari ca rezultat al însumării unor mărimi finite. El se referă la imposibilitatea determinării absolute a locului într-un volum infinit. În aceasta nu putem găsi un centru și nu putem determina un anumit loc în mod absolut. Cînd corpul nu are frontiere, noțiunile „dedesubt", „deasupra", „în față", „în spate", „în dreapta" și „în stînga" își pierd sensul. Deoarece locul se determină în mod absolut, nici un corp care posedă un loc determinat nu poate fi infinit. Denumind un corp determinat, perceput cu simțurile, dar neavînd frontiere, „actual infinit", Aristotel deduce de aici imposibilitatea existenței unui corp actual infinit: „Așadar, reiese evident din cele spuse, că un corp infinit nu există actual"[1].

Nu putem renunța însă la noțiunea de infinit. Spre deosebire de spațiu, timpul este infinit, infinită este și măsurarea timpului. De aceea, continuă Aristotel, „...este necesar să recunoaștem un arbitru și devine clar că într-o anumită privință infinitul există, iar în alta nu". Există infinitul potențial. El nu poate fi conceput în sensul în care, bunăoară, o statuie este conținută potențial în aramă. O astfel de concepție ar însemna că infinitul potențial se transformă pînă la urmă în unul actual. Infinitul potențial rămîne tot timpul finit și se schimbă tot timpul, acest proces de transformare putîndu-se prelungi oricît de mult. „În general, infinitul există astfel încît se ia întotdeauna altceva și altceva, iar ceea ce se ia este întotdeauna finit, însă întotdeauna diferit și diferit"[2]. Aristotel ajunge la noțiunea de infinit potențial, plecînd de la diviziunea continuă a unei mărimi. După opinia lui Aristotel se poate ajunge însă la infinitul potențial, adăugînd continuu la o mărime finită, alte mă-

[1] Aristotel, *Fizica*, 206 a, p. 51.

[2] *Ibidem*, 206 b, p. 52.

rimi finite. În toate cazurile, infinitul potențial constă în posibilitatea continuă de a împărți o mărime finită sau de a-i adăuga alte mărimi. Însă Aristotel consideră mărimile care cresc spațial ca apropiindu-se asimptotic de o anumită limită finită.

„Infinitul prin adăugare este, într-o anumită privință, același ca și prin împărțire, anume în urma adăugirii la o mărime finită se produce contrariul: în măsura în care ea merge vizibil spre infinit în cazul împărțirii, tot astfel, la adăugare, ea va părea că merge spre o mărime determinată"[1].

De aici, Aristotel deduce o concluzie surprinzătoare, și totodată pe deplin firească. Ea face parte dintre construcțiile *Fizicii*, care ne provoacă o deosebită impresie prin extrema lor claritate. Sensul noțiunii de infinit este diametral opus sensului pe care l-au dat acestei noțiuni filozofii greci dinaintea lui Aristotel.

„Reiese însă că infinitul este opusul a ceea ce spun ei: nu acela în afara căruia nu există nimic, ci acela în afara căruia există totdeauna ceva — este tocmai infinitul"[2].

Pentru Aristotel, divizibilitatea infinită a spațiului nu înseamnă de loc o infinitate de puncte existentă, oarecum gata numărată; adică nu este infinitul actual. Spațiul poate fi împărțit tot mai departe și mai departe, *în cursul timpului*. Divizibilitatea potențial infinită a spațiului este legată de divizibilitatea infinită a timpului.

Plecînd de la acest considerent, Aristotel a putut să respingă paradoxele lui Zenon. Din paradoxe rezultă numai că un corp nu poate parcurge o infinitate de puncte în cursul unui număr mărginit de clipe. Dar timpul este și el infinit; el este infinit divizibil și, pentru a parcurge infinitatea de puncte, corpul are la dispoziție o infinitate de clipe[3].

Este un argument de o extremă claritate și eficiență. Săgeata și Ahile nu vor ajunge la țintă (în primul caz în stare de imobilitate, în al doilea mișcîndu-se încet) pentru că au în față șiruri nesfîrșite de puncte în care s-au descompus distanțele pînă la țintă, dar săgeata și Ahile dispun de o mulțime infinită de clipe în limi-

[1] Aristotel, *op. cit.*
[2] *Ibidem*, p. 53.
[3] *Ibidem*, 233 a, — 233 b, p.107.

tele intervalului de timp finit și în această infinitate de clipe ei parcurg o infinitate de puncte spațiale. Dacă Zenon vrea să considere distanța drept o sumă a unei infinități de elemente, atunci și timpul trebuie împărțit într-o infinitate de clipe.

Acest raționament răpește aporiilor lui Zenon ascuțișul lor sceptic. Ahile întrece broasca țestoasă, săgeata nimerește ținta și aceste fapte nu mai pot fi considerate imposibile. Rămîne însă problema punctului în care începe zborul săgeții și a punctului în care se termină alergarea lui Ahile. Aceste puncte nu pot fi aflate. Dacă ne vom referi la divizibilitatea infinită a timpului, problema nu se rezolvă, ci se extinde doar și la timp. Timpul în cursul căruia săgeata zboară pînă la țintă, iar Ahile ajunge din urmă broasca țestoasă nu are nici o primă clipă, nici o ultimă clipă. Și tocmai în aceasta constă caracterul paradoxal al mișcării. Alergarea lui Ahile și zborul săgeții s-au încheiat cu succes. Împărțim drumul parcurs în segmente și, corespunzător, împărțim în porțiuni și timpul necesar pentru parcurgerea acestui drum. După ce le-am împărțit într-o infinitate de elemente, nu putem pune în evidență nici prima clipă, nici primul punct spațial în care a început mișcarea săgeții, nici ultima clipă și ultimul punct în care Ahile a ajuns din urmă broasca. Pentru rezolvarea acestei contradicții sînt necesare alte argumente.

Aristotel le găsește fără dificultate. Primul punct parcurs de săgeată și ultimul punct al alergării lui Ahile nici nu există, pentru că spațiul și timpul nu sînt constituite din puncte și din clipe. Această concepție este legată de reprezentarea integrală a mișcării. Putem oare să spunem ceva precis despre mișcare, dacă o considerăm într-un moment dat și într-un punct dat? Dacă nu putem spune despre mișcare ceva precis, considerînd-o „aici" și „acum", atunci împărțirea spațiului în „aici" individualizați, iar a timpului în „acum" individualizați nu are sens fizic. În mod corespunzător, își pierd sensul și paradoxele lui Zenon. Dacă însă caracterizarea locală a mișcării o definește pe aceasta în vreo măsură, atunci noțiunea de mișcare „acum" și „aici" are a semnificație fizică reală, iar în tabloul lumii se încadrează reprezentarea spațiului și a timpului ca infinitate de puncte și de clipe.

CAPITOLUL IV

IDEILE ŞTIINŢIFICE ALE ELENISMULUI, ALE ROMEI ŞI ALE EVULUI MEDIU

Dezvoltarea disciplinelor ştiinţifice concrete, în special a matematicii, a mecanicii şi astronomiei, a făcut în cele din urmă ştiinţa să înainteze de la un punct de vedere aristotelic la unul democritean, de la principiile integrale, care explicau mişcarea unui corp prin configuraţia generală a Universului, la principii diferenţiale, care plecau de la starea de mişcare a corpului „aici" şi „acum" şi prevedeau comportarea lui în toate momentele ulterioare. Totodată, dezvoltarea diverselor discipline din cadrul studiului naturii a condus de la tabloul locurilor naturale la tabloul spaţiului omogen, în care toate punctele sînt echivalente. Această trecere a durat multe secole. Elementele imaginii mecanice a lumii au apărut în interiorul concepţiei aristotelice despre lume. Adeseori, ele au luat forma revenirii de la aristotelismul canonizat la concepţiile proprii ale lui Aristotel.

Din acest punct de vedere, vom încerca să aruncăm o privire asupra unor idei apărute în statele elenistice şi la Roma în decursul celor cinci-şase secole de după Aristotel, desprinzînd totodată o anumită tendinţă generală din aceste idei.

Vom începe cu matematica. Pentru întreaga dezvoltare ulterioară a ştiinţei, mergînd pînă în zilele noastre, au avut cea mai mare importanţă *Elementele geometriei* ale lui Euclid. Poate că alte rezultate ale gîndirii antice greceşti şi alte opere clasice au exercitat, în ultimă in-

stanță, o influență tot atît de mare asupra progresului științei, însă *Elementele* lui Euclid servesc și, pe cît putem prevedea viitorul, vor servi întotdeauna drept fundament *nemijlocit* al științelor naturii. Pînă la jumătatea secolului al XIX-lea, ele erau considerate drept temelia absolut neclintită a geometriei; acum știm că sînt posibile și alte fundamente necontradictorii ale geometriei, iar datorită lui Einstein ne-au devenit cunoscute condițiile în care o geometrie neeuclidiană se arată a fi o reprezentare mai precisă a realității. Geometria lui Euclid continuă să fie însă baza geometriei, în sensul că concepțiile neeuclidiene sînt enunțate ca generalizări ale ei, iar pentru un imens domeniu de fenomene putem să extragem direct schemele matematice din *Elemente*. Nici o carte științifică nu a avut soarta *Elementelor* lui Euclid. În adevăr, pînă recent, în școlile engleze *Elementele* erau unicul manual de geometrie. Timp de peste două milenii și jumătate, această carte nu a devenit de domeniul trecutului; manualele actuale rămîn și ele în mare măsură, o expunere a *Elementelor*.

Realizarea științifică a lui Euclid și sarcina determinată istoricește a matematicii secolelor al III-lea și al II-lea î.e.n. au fost de a reuni cunoștințele matematice disparate într-un sistem unitar și armonios.

Despre viața lui Euclid s-au păstrat cîteva anecdote istorice (de exemplu, răspunsul pe care l-a dat lui Ptolemeu, întemeietorul dinastiei Lagizilor, care dorea ca studiul matematicii să nu fie atît de dificil. Euclid i-a răspuns lui Ptolemeu: „în geometrie nu există drum împărătesc"). Se știe că în preajma anului 300 î.e.n. Euclid trăia la Alexandria. Pe vremea aceea, Alexandria era capitala culturală a lumii, moștenitoarea Atenei. De altfel, acest din urmă epitet nu redă rolul specific al Alexandriei ca centru cultural al Oicumenei, adică al spațiului în care trăiau popoarele civilizate. Această noțiune a apărut în perioada elenistică, cînd Egiptul și Asia anterioară, Atena, Sparta și Sicilia au devenit un întreg unitar sub raport cultural, care a exercitat o influență considerabilă asupra culturii regatului Bosforului, Parthiei, Bactriei, Nubiei și Cartaginei și o influență întrucîtva mai mică asupra țărilor mai îndepărtate de Marea Mediterană. La Alexandria exista pe atunci celebrul Muzeu — „lăcașul muzelor", unde

lucrau zeci de mari învățați și unde exista o vestită bibliotecă, cuprinzînd sute de mii de suluri (papirusuri).

Se pare că tocmai aici, la Alexandria, au fost scrise *Elementele*. Această lucrare începe cu definiții, urmate de postulate și de axiome. Expunerea postulatelor începe cu cuvîntul „Să admitem", după care se enumeră supozițiile. Primul spune: de la orice punct la orice punct poate fi dusă o linie dreaptă. A doua supoziție: o dreaptă mărginită poate fi prelungită după voie. A treia supoziție: din orice centru, cu orice deschidere a compasului, poate fi descris un cerc. A patra: toate unghiurile drepte sînt egale. Postulatul al cincilea îl vom reda în formularea echivalentă celei din *Elemente*, dar într-o formă mai simplă: dintr-un punct exterior unei drepte se poate duce o singură paralelă la o dreaptă dată.

Urmează apoi axiomele. Ele nu se mai referă la noțiuni propriu-zis geometrice, ci la mărimi arbitrare. Axiomele caracterizează proprietățile egalității: 1) mărimi egale cu o aceeași mărime sînt egale între ele; 2) dacă la mărimi egale se adaugă mărimi egale, căpătăm mărimi egale; 3) mărimile egale le obținem scăzînd mărimi egale din mărimi egale; 4) mărimile care coincid prin suprapunere sînt egale; 5) întregul este mai mare decît partea.

Venind în contact cu adevărurile matematicii, cititorul neinițiat este uneori nedumerit în legătură cu semnificația enunțurilor precise și riguroase, care afirmă lucruri cu totul evidente. Dar, să examinăm postulatele lui Euclid, pentru a vedea dacă erau evidente în antichitate.

Evidența postulatelor și a axiomelor euclidiene este rezultatul unei îndelungate familiarizări a omului cu prototipurile lor fizice. Aceste prototipuri au devenit însă obiect al unei observații sistematice, obiect de studiu și, lucrul cel mai important, obiect de utilizare, considerabil mai tîrziu. În realitate, postulatele euclidiene corespund unui spațiu omogen, în care mișcarea unui corp solid nu determină modificări ale formei și ale mărimii, adică ale distanțelor dintre punctele materiale care constituie acest corp. În spațiul „plan" omogen, putem duce între două puncte o dreaptă; mai exact, în spațiul omogen pu-

tem întîlni prototipul fizic al dreptei, adică mişcarea rectilinie şi uniformă, care nu este legată de vreo interacţiune a corpurilor şi permite deci să se vorbească despre proprietăţi determinate, inerente spaţiului ca atare.

Să trecem la fizica şi la cosmologia lui Aristotel. Există oare aici prototipul fizic al liniei drepte, care uneşte două puncte?

În fizica şi în cosmologia lui Aristotel a existat noţiunea de mişcare nelegată de un impuls sau de tendinţa către locul natural. Este mişcarea corpurilor eterice din lumea supralunară. Ea era considerată *„perfectă"* şi putea fi pusă în legătură cu proprietăţile „naturale", geometrice ale spaţiului. Însă mişcările corpurilor eterice din lumea supralunară sînt circulare. A fost nevoie de o muncă de secole a gîndirii pentru a trece de la ideea mişcărilor circulare perfecte la ideea mişcării rectilinii în virtutea inerţiei. În adevăr, încă la Galilei mişcarea în virtutea inerţiei este, în esenţă, circulară, şi abia Descartes a exprimat ideea mişcării inerţiale rectilinii. Primul principiu al lui Newton era deja o constatare fizică precisă: un corp asupra căruia nu acţionează alte forţe se mişcă uniform după o dreaptă. Un corp asupra căruia nu acţionează forţe este eliminat din sistemul conexiunilor fizice, al interacţiunii corpurilor; mişcarea sa poate fi în cel mai înalt grad prototipul proprietăţilor spaţiului ca atare. Ulterior, cu ajutorul noţiunii de curbură a spaţiului, Einstein a ajuns la o geometrizare a mişcării accelerate, declarînd proprietăţile spaţiului drept cauză a acceleraţiilor gravitaţionale. La Newton, mişcarea unui corp asupra căruia nu acţionează forţe, era prototipul liniei drepte. Tocmai de aceea, *Principiile matematice ale filozofiei naturale* ale lui Newton au jucat rolul de întrupare fizică universală a *Elementelor* lui Euclide.

În fizica lui Aristotel lipsea şi un alt prototip fizic al geometriei euclidiene. În adevăr, toate postulatele lui Euclid vorbesc despre infinit. Oricît s-au străduit gînditorii greci, inclusiv Euclid, să evite o operare explicită cu infinitul, postulatele conţin în esenţă această noţiune. Postulatele extind relaţii extrase din observaţii asupra unor figuri finite, la spaţiul infinit, în care un segment de dreaptă poate fi prelungit într-o dreaptă infinită. Respectiv, în acest spaţiu infinit se poate trasa

un cerc de rază nemărginită, în care se pot compara o infinitate de unghiuri drepte, iar din egalitatea lor deducîndu-se unicitatea dreptei care se continuă la infinit, descriind comportarea paralelelor prin prelungirea lor la infinit.

În Universul lui Aristotel nu există echivalenţi fizici ai spaţiului infinit.

Aceasta nu înseamnă că geometria lui Euclid nu ar fi avut prototipuri reale încă în antichitate. Ea avea astfel de prototipuri: exemple de drepte, inclusiv paralele, care se continuă practic oricît de mult, şi exemple de cercuri care au practic raze oarecare se întîlneau destul de frecvent, însă nu erau sintetizate într-o imagine fizică a lumii.

Aceasta este în genere relaţia dintre elementele explicaţiei mecanice a naturii în antichitate şi tabloul lumii în ansamblul său. Grecii se loveau tot timpul de legi mecanice: în agricultură, cu tehnica ei stagnantă, mai rar; în meşteşuguri, în construcţii, în arta militară, mai des. Însă imaginea peripatetică dominantă asupra lumii nu era mecanică. Ea cuprindea doar anumite metode şi probleme care conduceau la noţiuni mecanice, în cadrul unei generalizări logice şi matematice. De aceea, logica lui Aristotel şi geometria lui Euclid sînt în multe privinţe mai aproape de Democrit, iar dacă vorbim despre viitor, de Newton, decît de un tablou calitativ continuu al lumii, ca cel zugrăvit în *Fizica*, în *Despre cer* şi în alte scrieri ale lui Aristotel.

Să considerăm din acelaşi punct de vedere creaţia lui Arhimede (287?—212), cel mai mare mecanician şi unul dintre cei mai de seamă matematicieni ai antichităţii.

Arhimede s-a născut la Siracuza şi a studiat un timp la Alexandria, unde a avut ocazia să cunoască lucrările lui Eudoxiu şi ale lui Euclid. El a întreţinut ulterior o corespondenţă cu Eratostene, astronom şi geograf, conducător al muzeului din Alexandria. Dintre lucrările aplicative ale lui Arhimede sînt cunoscute mai ales elicea infinită pentru pompat apă, scripetele compus pentru greutăţi mari şi o mulţime de dispozitive cu destinaţie militară, în special maşini de aruncat, folosite pentru apărarea Siracuzei împotriva flotei romane care o ataca sub comanda lui Marcellus.

În biografia lui Marcellus, Plutarh vorbește despre lucrările lui Arhimede și îndeosebi despre cele legate de apărarea Siracuzei asediate. Este interesant că lui Plutarh construirea mecanismelor îi apare drept un fapt ce trebuie justificat prin referiri la împrejurările speciale. După Plutarh, în zilele asediului Siracuzei de către romani, Arhimede s-a ocupat de mecanica aplicată numai pentru că orașul său natal era într-o primejdie de moarte. În alte condiții, activitatea de experimentator și de constructor a lui Arhimede ar fi fost de neiertat pentru un gînditor. Aceasta este ideea caracteristică a lumii sclavagiste despre știință, pe de o parte, și despre activitatea aplicativă de experimentator și constructor, pe de altă parte.

În anul 212 î.e.n., Siracuza a fost cucerită și Arhimede ucis. Plutarh relatează astfel întîmplarea: „De Arhimede s-a apropiat alergînd un soldat cu sabia în mînă, ca să-l omoare. Arhimede l-a rugat cu insistență pe soldat să aștepte un minut, pentru ca problema de care se ocupa în acel moment să nu rămînă nerezolvată; soldatul nu avea interes pentru rezolvarea problemelor de matematici și l-a străpuns pe Arhimede cu sabia"[1].

Lucrările de hidrostatică ale lui Arhimede sînt larg cunoscute, însă ar fi cazul, totuși, să le amintim. Legenda spune că Hieron, tiranul Siracuzei, l-a însărcinat pe Arhimede să verifice dacă giuvaergiul care îi confecționase o coroană din aur nu adăugase și argint le ea, însușindu-și astfel o parte din cantitatea corespunzătoare de aur. O dată, cufundîndu-se într-o cadă plină, Arhimede a avut ideea că apa dezlocuită de corpul său permite să se determine volumul corpului. Greutatea corpului se găsește într-un raport determinat față de greutatea apei dezlocuite, care are un volum egal cu volumul corpului cufundat. Așadar, este vorba despre greutatea specifică. Determinînd greutatea specifică a unui metal, ne putem convinge dacă ea coincide sau nu cu greutatea specifică a aurului și, ca atare, putem să-l identificăm sau nu cu aurul. Neconcordanța greutăților specifice — a metalului cercetat și a aurului — arată că în metalul cercetat s-a adăugat la aur o altă substanță, cu altă densitate. După cum relatează Vitruviu, în

---

1 Plutarh, *I. Marcellus*, 19.

celebra sa carte *Despre arhitectură*, Arhimede a sărit afară din cadă și a început să alerge dezbrăcat pe străzile Siracuzei, strigînd *eureka!* („am găsit"). Mai departe, după cum povestește Vitruviu, Arhimede a confecționat lingouri de aur și de argint, egale ca greutate cu coroana, le-a cufundat într-un vas umplut cu apă, a măsurat greutățile lor specifice, iar după aceea, determinînd greutatea specifică a coroanei, l-a demascat pe giuvaergiu: acesta adăugase efectiv argint la aur.

Ce anume l-a făcut pe Arhimede să sară din cadă și să alerge pe străzile Siracuzei? Probabil că impulsul nu a fost gîndul la nefericitul giuvaergiu. Era mai curînd impresia generalității legii pe care o descoperise. Răspunsurile unui geniu sînt întotdeauna mai cuprinzătoare decît problemele care i-au fost puse. Aceasta este valabil și pentru ansamblul științei. Răspunzînd cerințelor practicii care constituie motorul progresului științific, știința creează valori care-și află o aplicare și dincolo de limitele acestor probleme nemijlocite, ele constituind în întregul lor, o imagine științifică a lumii. În ce consta, în cazul de față, importanța legii descoperite de Arhimede pentru dezvoltarea imaginii științifice a lumii?

Greutatea specifică este cea mai generală proprietate a unui corp, susceptibilă de măsurare și permițînd să se exprime deosebirile cantitative dintre substanțe, sub forma deosebirii cantitative dintre greutățile lor specifice. În acest sens, noțiunea de greutate specifică era o premisă esențială pentru trecerea la imaginea mecanică a lumii și la cercetarea cantitativă a substanței.

Arhimede este descoperitorul legii fundamentale a hidrostaticii, pe care a expus-o în forma în care figurează și astăzi în manuale: un corp cufundat într-un lichid pierde din greutatea sa atîta cît cîntărește lichidul dezlocuit.

Cercetările de hidrostatică ale lui Arhimede erau în legătură, probabil, și cu activitatea sa de constructor, în particular cu proiectarea unor corăbii mari. Aici întîlnim din nou relația dintre cerințele practice și dezvoltarea științei, despre care am vorbit mai sus.

Tot de activitatea de proiectant și de constructor a lui Arhimede este legată teoria pîrghiei. Arhimede a demonstrat că greutăți egale, aflate la distanțe inegale

de punctul de sprijin, de o parte și de cealaltă ale acestuia, nu se echilibrează, ca și greutățile inegale aflate la distanțe egale. Greutățile inegale se echilibrează reciproc dacă se află la distanțe invers proporționale cu greutățile lor de la punctul de sprijin.

Teoria arhimediană a pîrghiei a fost precedată de o îndelungată dezvoltare a ideii de echilibru în știința greacă. Această idee — ideea centrală a mecanicii antice — era extinsă, după cum am văzut, la Univers, și din ea s-a dezvoltat reprezentarea locurilor naturale ale tuturor corpurilor din natură. În explicarea mișcării, se luau ca punct de plecare noțiunile în esență statice, legate de echilibru. Mecanica clasică, creată în secolul al XVII-lea, se caracterizează printr-o altă idee despre echilibru și mișcare: echilibrul apare ca un caz particular al mișcării, el este determinat de caracteristici dinamice diferențiale, corpul se află în echilibru atunci cînd este supus, într-o poziție dată, unor accelerații virtuale, care se compensează. Pentru trecerea la această reprezentare a echilibrului trebuiau cercetate în prealabil condițiile de echilibru ale unor corpuri de formă geometrică diferită. Arhimede a făcut aceasta, determinînd centrul de greutate al paralelogramului, al triunghiului și al altor figuri plane.

În anul 1906, Papadopulo-Kerameus, privat docent la Universitatea din Petersburg, a descoperit la Biblioteca mănăstirii Sfîntului Mormînt de la Ierusalim un palimpsest, adică un pergament antic, pe care călugării scriseseră un text creștin, peste un text vechi din vremurile păgînismului. Descifrînd o parte din acest text vechi, Papadopulo s-a convins că are în față un manuscris matematic elen. Filologul danez Heiberg, istoric al matematicii, a reconstituit și a descifrat manuscrisul vechi: s-a constatat că este o scriere a lui Arhimede, care fusese considerată pierdută, al cărei titlu este: *„Scrisoare lui Eratostene despre metoda matematică de rezolvare a problemelor geometrice.*

Metoda constă în asimilarea figurii geometrice cu o pîrghie și într-un fel de „cîntărire" a figurii și a părților ei. Arhimede stabilește ce părți ale figurii cercetate se echilibrează una pe alta, după care determină ariile și volumele figurilor și corpurilor geometrice.

În acest cadru, Arhimede consideră aria unei figuri drept ansamblu al tuturor segmentelor paralele care trec prin ea, iar volumul unui corp drept ansamblu al tuturor ariilor paralele cuprinse în el. Aşadar, volumul este stratificat aici într-o infinitate de elemente bidimensionale indivizibile, iar aria este haşurată cu o infinitate de segmente de lărgire nulă, care o umplu. Arhimede înţelege că această reprezentare nu este corectă, că un volum nu poate fi suma unor arii de grosime nulă, că o suprafaţă nu poate fi obţinută prin însumarea unor linii, după cum o linie nu rezultă din însumarea unor puncte fără extensiune. În general, pentru Arhimede esenţa metodei nu constă în această diviziune cu totul convenţională, ci în aplicarea legilor pîrghiei la rezolvarea unor probleme de geometrie. Metoda generală pentru rezolvarea problemelor geometrice legate de calculul ariilor unor figuri curbilinii era aceea în care se aplica creşterea consecutivă a numărului de elemente şi aflarea unor limite. De exemplu, Arhimede a considerat lungimea unui cerc drept limită a perimetrului unui poligon circumscris, care se apropie de cerc o dată cu creşterea succesivă a numărului laturilor sale, rămînînd însă tot timpul mai mare decît cercul. În acelaşi timp, el consideră cercul drept limită a unui poligon înscris, care, mărindu-şi numărul de laturi, se apropie de cerc, rămînînd tot timpul mai mic decît acesta.

Lucrările de matematică ale lui Arhimede sînt legate de ideea divizibilităţii infinite a spaţiului. Cît priveşte dimensiunile Universului, Arhimede le consideră finite. În acest sens, Arhimede se menţine în cadrul reprezentării aristotelice. În *Calculul firelor de nisip (Psammit)*, Arhimede demonstrează că orice mulţime poate fi numărată. În acest scop, el recurge la puteri. Arhimede află numărul firelor de nisip din Univers, mărginit de sfera stelelor fixe, adică dintr-o sferă avînd raza egală cu distanţa de la Pămînt pînă la stelele fixe. Calculul se întemeiază pe supoziţia arbitrară că distanţa de la Pămînt pînă la stelele fixe este de atîtea ori mai mare decît distanţa pînă la Soare, respectiv de cîte ori această distanţă pînă la Soare este mai mare decît diametrul Pămîntului. Atunci rezultă că în Univers pot avea loc 10^{63} fire de nisip.

Pentru Arhimede este caracteristic faptul că noțiunile sale de matematică și de mecanică nu evoluează într-un tablou al locurilor naturale, al mișcărilor naturale și în general nu se întrupează într-o imagine unică a lumii. Acest foarte mare gînditor al perioadei elenistice nu tinde să deducă din principiile sale inițiale o explicație universală pentru toate fenomenele naturii. La gînditorii din secolul al III-lea î.e.n., chiar la cei mai mari, nu există stimulentele ideatice pentru aceasta, care îndrumaseră gîndirea creatoare a învățaților din generația precedentă. Centrul de greutate al cugetării filozofice s-a deplasat în domeniul problemelor eticii. Meditațiile asupra filozofiei naturii iau caracterul unor comentarii la cărțile vechi. Gînditorii originali și de anvergură dezvoltă domenii relativ particulare ale cunoașterii. Bineînțeles, ele sînt particulare în comparație cu construcțiile universale ale perioadei precedente.

În istoria studiului naturii, perioada elenismului este mai bogată în descoperiri concrete decît perioadele istorice anterioare, dar în dezvoltarea unei *imagini unitare a lumii,* nu numai perioada elenistică, ci și epoca romană și evul mediu, care îi urmează, constituie o etapă de descompunere a acestui tablou unitar. Procesul menționat a fost progresist sub raport istoric, el a fost necesar pentru geneza unei noi imagini unitare a lumii. Totuși, istoria tabloului unitar al lumii se întrerupe oarecum pentru multe secole.

În perioada elenistică pînă și astronomia încetează de a fi o imagine a lumii, dacă înțelegem prin aceasta o explicație universală a întregului ansamblu de fenomene naturale cunoscute omului. Pe vremea lui Aristotel, cunoștințele de astronomie erau un element al unei astfel de explicații universale. Acum, astronomii sînt preocupați de mișcarea corpurilor cosmice ca atare. Influența acestora asupra altor fenomene încetează treptat de a mai constitui obiectul unei analize științifice și este considerată ca un fel de acțiune mistică a proceselor cosmice asupra destinelor Pămîntului și ale oamenilor.

În evoluția astronomiei antice, mergînd pînă la încununarea ei în sistemul lui Ptolemeu, putem urmări ca tendință fundamentală aceea de a reduce cinematica Universului la mișcări circulare uniforme, naturale și

perfecte. Această tendință a existat încă înaintea lui Aristotel, iar în secolul al IV-lea î.e.n. ea și-a găsit expresia în sistemul astronomic al lui Eudoxiu. Acesta a așezat Pămîntul sferic în interiorul a 27 sfere concentrice. Fiecare sferă, în afara celei periferice, pe care sînt așezate stelele fixe, are o mișcare uniformă proprie „perfectă" și, în plus, este antrenată în mișcarea celorlalte sfere, deoarece polii ei sînt fixați de două puncte ale sferei exterioare, dar nu de polii acestei sfere, încît axele de rotație nu coincid. De aceea, mișcarea unui corp ceresc poate fi neuniformă, deoarece este compusă din cîteva mișcări uniforme ale unor sfere diferite. O astfel de compunere de mișcări neuniforme, din mișcări circulare uniforme „perfecte" se putea obține pe căi diferite, prin scheme cinematice diverse. Această lipsă de univocitate a schemelor cinematice se resimțea deja în secolul al IV-lea î.e.n. Ulterior, această situație s-a accentuat. Acumularea de date astronomice și, lucrul cel mai important, trecerea la metode tot mai precise în observațiile astronomice au determinat complicări ale schemei sferelor legate între ele sau au impus trecerea la alte scheme de combinare a mișcărilor uniforme, care să explice mișcările neuniforme aparente ale corpurilor cerești.

Spre deosebire de secolul al IV-lea î.e.n., în perioada elenismului, astronomia a luat un caracter considerabil mai puțin filozofic și sensibil mai riguros cantitativ-matematic. În secolul al III-lea î.e.n., Aristarh din Samos (născut în anul 270 î.e.n.) a vrut să determine distanțele dintre Pămînt, Soare, Lună și planete după unghiurile formate de dreptele orientate de la observatorul de pe Pămînt spre diversele corpuri cerești. Rezultatele sale, de exemplu afirmația că Soarele ar fi la o distanță de 19 ori mai mare de Pămînt decît Luna (în realitate distanța este de 400 ori mai mare), se deosebesc de cele adevărate din cauza preciziei insuficiente a determinării unghiurilor în acel timp. Aristarh s-a străduit, de asemenea, să măsoare dimensiunile corpurilor cerești. El credea că Luna este de 25 ori mai mică decît Pămîntul (în realitate de 48 ori), iar Pămîntul este de 300 ori mai mic decît Soarele (în realitate de 1 300 000 ori). Poate că aceste măsurători l-au dus pînă la urmă pe Aristarh la o reprezentare heliocentrică. Soarele este

mai mare decît Pămîntul și aceasta face probabil ca soarele să fie fix, iar Pămîntul să se miște în jurul lui. Aici criteriul antropocentric nemijlocit pentru alegerea sistemului de referință cedează locul unui criteriu mai obiectiv: pentru a descrie mai corect realitatea, trebuie ales un sistem de referință în care sînt fixe corpurile mai mari. Acest argument va mai răsuna în literatura heliocentrică a secolelor al XVI-lea — al XVII-lea. Firește, Aristarh nu cunoștea noțiunea de sistem de referință; însă atribuind Soarelui rolul de centru imobil al mișcărilor planetare, el trece în fond de la un sistem de referință care pare mai natural (mișcările adevărate sînt mișcări care apar astfel cînd sînt observate de pe Pămînt) la un alt sistem. Ideea repausului relativ al Pămîntului era extrem de cutezătoare. Ea a apărut într-o știință care nu pierduse încă suplețea și „naiva divergență de păreri", caracteristice pentru gîndirea greacă. Ulterior, concepțiile heliocentrice, exprimate în vremurile antichității, au jucat un rol important în eliberarea gîndirii de sub puterea dogmelor peripatetice încremenite. Copernic a declarat că familiarizarea cu heliocentrismul antic l-a îndrumat spre noua schemă cinematică a sistemului planetar.

Studiul moștenirii antice a jucat adeseori un rol similar și poate că valoarea ei euristică nu a fost încă niciodată atît de mare ca în zilele noastre. Dar pentru ca intuițiile lui Aristarh și ale celorlalți adepți ai heliocentrismului să se transforme într-o teorie clară, era nevoie de un număr de observații astronomice și de o precizie a măsurătorilor astronomice care depășeau atît puterile antichității, cît și pe ale evului mediu. A fost nevoie să se treacă de la cultura mediteraneană la o bază culturală considerabil mai vastă, pentru ca știința să poată aborda heliocentrismul ca pe o teorie științifică incontestabilă.

În secolul al II-lea î.e.n., Hiparh (care a trăit pe insula Rodos, cam între anii 160 și 125) a pus la îndemîna astronomilor tabele ale coardelor corespunzătoare arcelor de cerc cu diverse unghiuri la centru. Cu ajutorul lor se putea determina considerabil mai precis poziția stelelor fixe. În timpurile preelenistice, astronomii desenau pe harta cerului figuri care reuneau punctele unde se aflau stelele; uneori, aceste figuri făceau im-

presia că sînt reprezentările unor obiecte, şi denumirile acestor obiecte deveneau denumiri ale constelaţiilor. Acum însă, utilizînd calculele trigonometrice şi unele metode tehnice de observaţie mai perfecţionate, se puteau indica coordonatele precise ale corpurilor cereşti observate. Astronomii au început să întocmească liste de stele, cuprinzînd indicarea poziţiei lor.

Folosind hărţile relativ precise ale stelelor fixe, s-au putut stabili, într-o formă deosebit de clară, neregularităţile din mişcarea Soarelui, a Lunii şi a planetelor, în raport cu stelele fixe. Abaterile de la mişcările circulare regulate erau cunoscute şi în trecut, însă acum ele au fost determinate cu mult mai multă precizie. Pentru o coincidenţă mai precisă a mişcărilor calculate ale planetelor cu mişcările observate, ar fi fost nevoie să se complice într-o măsură mult mai mare schema cinematică, mărind astfel numărul de sfere legate între ele. De aceea, gîndirea astronomilor a apucat-o curînd pe un alt drum, care permitea să se ajungă la o explicaţie cantitativă a fenomenelor astronomice. În imaginea Universului au intrat noţiunile de excentricitate, adică de distanţă dintre Pămînt şi centrul de rotaţie al corpurilor cereşti, şi de epicicluri, adică mişcări ale centrelor orbitelor circulare ale planetelor în jurul Pămîntului. Planetele se învîrtesc în jurul unui centru care este întrucîtva deplasat în raport cu centrul Pămîntului. În afară de aceasta, centrul de rotaţie poate el însuşi să se învîrtească în jurul Pămîntului.

Dezvoltarea teoriei excentricităţii şi a epiciclurilor a fost strîns legată de o altă apreciere a schemelor cinematice decît cea din trecut. De astă dată, au devenit criterii ale adevărului argumentele fizice, nu cele cinematice. Gînditorii greci din secolele al VI-lea — al V-lea î.e.n. nu se îndoiau de caracterul absolut al mişcărilor corpurilor cereşti, aşa cum apar cînd sînt observate de pe Pămînt. Acum, caracterul absolut al acestor mişcări nu mai părea evident. În primul rînd, mişcările s-au dovedit a fi diferite cînd sînt observate din puncte diferite de pe Pămînt. Mai departe, s-a constatat că mişcările circulare regulate ale corpurilor cereşti sînt relative: Soarele, Luna şi planetele se învîrtesc uniform în jurul unor puncte care se mişcă în raport cu Pămîntul. Astfel, ideea relativităţii mişcării

își croiește drum. Excentricitatea și epiciclurile înseamnă mișcarea definită în raport cu unele puncte ale spațiului, nu în raport cu anumite corpuri. Aceasta deschidea drum posibilității de a raporta cu tot atîta drept mișcarea la puncte diferite ale spațiului. Succesiunea relativ rapidă a diverselor scheme cinematice îi sugera științei antice ideea echivalenței cinematice a acestora.

Gînditorii greci erau convinși de existența unor corpuri absolut imobile. Dar imobilitatea lor trebuia demonstrată prin argumente fizice; cinematica nu oferea un criteriu absolut pentru a distinge mișcările aparente de cele adevărate. Cinematic, mișcarea Soarelui în jurul Pămîntului putea și ea să „salveze" fenomenele astronomice, la fel ca mișcarea Pămîntului în jurul Soarelui. După Aristarh din Samos, aceasta a devenit limpede pentru mulți. Așadar, trebuiau găsite noi argumente fizice, nu cinematice, în sprijinul imobilității Pămîntului.

Aceste tendințe se văd deosebit de clar la Ptolemeu (74—147), care încheie în secolul al II-lea e.n. dezvoltarea astronomiei antice.

Ptolemeu și-a expus sistemul într-o carte cunoscută sub titlul ei arab de *Almagesta.* În această lucrare se arată cum complexitatea mișcărilor accelerate observate ale corpurilor cerești poate fi „salvată" numai prin construcții complicate, prin schema unor orbite circulare distincte, dar circulare numai în raport cu centrul lor. Centrele înseși nu coincid cu Pămîntul (excentricitatea orbitelor) și, în plus, se mișcă în jurul Pămîntului (epiciclurile).

Ptolemeu spune că sistemul opus concordă și el cu mișcările aparente ale corpurilor cerești. Creatorul sistemului geocentric, canonizat ulterior, admite că schema heliocentrică nu contrazice fenomenele astronomice, cum ar fi mișcările corpurilor cerești, observate de pe Pămînt. Caracterul absolut al acestor mișcări era de mult discreditat. Folosind limbajul contemporan, am putea spune: fenomenele astronomice observate rămîn neschimbate cînd trecem de la sistemul de referință în care este fix Pămîntul, la sistemul de referință în care este fix Soarele.

În *Almagesta*, geocentrismul se întemeia pe argumente *fizice*: dacă Pămîntul s-ar roti, atunci păsările, norii etc, ar rămîne în urmă față de mișcarea lui și s-ar mișca înapoi. Ar fi deplasate spre vest și corpurile care cad de la o înălțime oarecare. Aceste argumente au făcut să i se atribuie Pămîntului o imobilitate absolută.

Sistemul de excentricități și epicicluri introdus de Ptolemeu însemna că pot fi centre de rotație și alte puncte decît Pămîntul, că aceste puncte se mișcă și că, astfel, mișcările circulare pot fi relative. În felul acesta, pătrunde în imaginea lumii spațiul ca atare, împreună cu reprezentarea echivalenței punctelor spațiului. Aceste noțiuni și reprezentări constituiau o premisă necesară pentru o imagine mecanică a lumii.

Vedem că, încă în perioada elenistică, au apărut în cadrul tabloului aristotelic al lumii idei care serveau ca premise pentru o explicație mecanică a naturii. Geometria lui Euclid corespundea unui spațiu infinit și omogen, care era prototipul fizic cel mai natural al postulatelor și al axiomelor geometrice. Arhimede s-a apropiat de o reprezentare cantitativă a deosebirilor calitative din natură. În astronomie au fost puse în lumină echivalența punctelor spațiului, egalitatea în drepturi a diverselor scheme cinematice și necesitatea argumentelor fizice pentru alegerea univocă a unei scheme de mișcare a corpurilor cerești.

Toate acestea însă nu au condus la teorii fizice univoce fundate pe noțiunile de spațiu omogen și infinit și reducînd deosebirile calitative la caracteristici cantitative.

Aceste teorii au apărut ca rezultat al acumulării diverselor fapte și al lărgirii orizontului omenirii în statele elenistice, în Imperiul Roman, în statele Europei și Orientului din evul mediu.

Să ne oprim asupra lărgirii orizontului *geografic*. În statele elenistice și în Imperiul Roman, acumularea de informații geografice a avut o importanță deosebită pentru dezvoltarea științei în ansamblul ei. Era încă foarte departe pînă la descoperirea întregii suprafețe populate a globului; această descoperire s-a produs în epoca marilor expediții din secolele al XV-lea—al XVI-lea. Este vorba despre descoperirea și despre descrierea

mai mult sau mai puțin sistematică a ceea ce se chema Oicumena. Explorările geografice ale statelor eleniste, iar apoi ale Romei le-au continuat pe cele începute în perioada macedoneană. Sarcinile erau însă altele. Pe timpul lui Alexandru erau descrise sistematic teatrele de operații militare și țările cucerite: condițiile lor naturale, populația, resursele naturale, economia și cultura. În campaniile sale, Alexandru a urmărit scopuri economice și culturale foarte vaste. Să amintim măcar planurile lui Alexandru dinainte de moarte: extinderea instalațiilor hidrotehnice ale Eufratului, unirea Mării Caspice cu Oceanul, construirea unor grandioase temple în Babilon, Delos și Delfi, construirea unor mari canale, instalații portuare, orașe, cetăți și temple, deservirea inginerească a operațiilor militare, îmbinarea culturii elene cu cea orientală. Toate acestea au fost idei ale lui Alexandru Macedon, care impuneau o cercetare relativ sistematică a noilor teritorii.

În statele elenistice, care au apărut în locul imperiului lui Alexandru, cel mai important fundament al explorărilor geografice era elementul comerțului internațional. Acesta furniza o sferă de informații considerabil mai vastă decît în trecut. Dacă descrierile geografice ale noilor teritorii, alcătuite la statul major al lui Alexandru și pătrunse și la vestitul Liceu, le vom compara cu povestirile fără noimă ale negustorilor egipteni, care din regiunea Nilului au ajuns pînă la locurile cunoscute europenilor abia în secolul al XIX-lea, acești negustori călătorind totodată în Europa de Nord și în Asia Centrală, deci aproape în toate țările Oicumenei, atunci vom constata că deosebirea dintre caracterul descrierilor geografice menționate și relatările acestora din urmă va deveni evidentă. Cercetările geografice ale perioadei elenistice, legate cu precădere de comerț, erau mai puțin sistematice decît pe vremea lui Alexandru, dar mai abundente și prezentau o autenticitate relativ mai mare. Pentru comerț, era nevoie de informații amănunțite despre piețele de desfacere, despre resurse și despre căile de comunicație. Menționăm că datele cantitative au căpătat o foarte mare însemnătate practică. Determinarea coordonatelor diverselor localități, a punctelor de unde încep porțiunile navigabile, a răscrucilor de drumuri îi interesa în cel mai înalt grad pe negustori.

Cercetările geografice care răspundeau acestor cerințe erau în strîns contact cu observațiile astronomice. Acestea din urmă dădeau posibilitatea de a se determina coordonatele punctelor geografice, iar datele geografice, la rîndul lor, permiteau să se treacă la marile probleme astronomice, de exemplu la determinarea dimensiunilor Pămîntului, cu ajutorul măsurării pozițiilor corpurilor cerești observate din diverse puncte ale globului. Cercetările geografice ale perioadei elenistice se caracterizează prin natura lor cantitativ-matematică și prin legătura lor cu observațiile și cu calculele astronomice, efectuate cu ajutorul tabelelor trigonometrice etc.

Romanii au modificat prea puțin caracterul cercetărilor geografice. Deși ei le-au lărgit sfera, cercetările geografice au rămas, totuși, legate într-o mai mică măsură de noile concepții din domeniul studiului naturii, de reprezentările despre figura și dimensiunile Pămîntului, de observațiile astronomice, de aplicarea unor metode cantitative, matematice. Aceasta este valabil îndeosebi pentru Roma imperială. Aici, stimulentul principal al explorărilor geografice era exploatarea provinciilor, care creștea și lua un caracter tot mai hrăpăreț, fiind însoțită și de reprimarea lor politică. Cuceritorii nu-și mai puneau acum complicate probleme cultural-economice, ei trimiteau spre Roma caravane cu bogății expropriate și mulțimi de oameni înrobiți. În aceste condiții, cunoștințele geografice au devenit mai vaste, însă și mai puțin sistematice și, lucrul cel mai important, mai puțin autentice. Toate acestea pot fi ilustrate pe baza exemplului unor explorări geografice din perioada macedoneană, din epoca elenistică și din timpul Imperiului Roman.

Particularitățile specifice ale perioadei macedonene reies din cercetările lui Dicearh (350—290), discipol al lui Aristotel, care a prelucrat informațiile geografice culese la statul major al lui Alexandru. Dicearh voia să dea o evaluare cantitativă generală a lumii, așa cum apăruse acestea în fața grecilor, ca rezultat al campaniilor lui Alexandru. Dicearh determină lățimea Oicumenei, de la Cercul polar pînă în Etiopia, ca fiind de circa 40 mii de stadii (adică aproximativ 7 000 kilometri), iar lungimea ei după axa latitudinală centrală (Coloanele

lui Hercule — strîmtoarea Mesina — Peloponesul — sudul Asiei Mici — India) de circa 60 mii de stadii.

Noțiuni și metode cantitative și mai importante încă au fost introduse în geografie de către Eratostene (născut în anul 275 î.e.n.), conducătorul amintit mai sus al Muzeului din Alexandria, corespondent al lui Arhimede, matematician și astronom de seamă. Eratostene a comparat rezultatele observațiilor astronomice de la Alexandria și de la Siene (el considera că aceste orașe se situează pe același meridian) și a calculat, după înălțimea Soarelui la același moment, lungimea arcului corespunzător unui grad, deci dimensiunile unui cerc mare de pe glob.

Perioada elenistică a imprimat gîndirii din domeniul studiului naturii trăsături noi, trăsături ale investigației cantitative. Imperiul Roman a lărgit sfera cunoștințelor științifice, dar, totodată, stilul științei în această epocă s-a îndepărtat de marele avînt al gîndirii filozofice generalizatoare din secolele al VI-lea— al IV-lea, care i-au dăruit omenirii atomistica lui Democrit și filozofia naturii a lui Aristotel, cu principiile ei integrale.

Să ne oprim asupra operei celui mai mare naturalist al Romei imperiale, Pliniu cel Bătrîn (23—79 e.n.). Viața lui Pliniu cel Bătrîn coincide cu o perioadă sumbră din viața politică și culturală a Romei. Pliniu avea 25 de ani cînd lupta de la Pharsalae a supus republica puterii lui Cezar. După Cezar a urmat „secolul lui August", scurt și relativ pașnic, iar apoi o epocă sîngeroasă, descrisă cu un sarcasm funebru de Petroniu și cu o exactitate nepărtinitoare de Suetoniu în *Viețile cezarilor*. Cîrmuitorii Romei, care se succedau unul după altul, sufereau de „boala cezarilor", adică de setea de omoruri, care și-a atins apogeul în cruzimea de maniac a lui Nero. Gîndirea liberă era asuprită și denaturată de o cenzură dezlănțuită și de bacanala torturilor. Impresiile acestor ani l-au făcut pe Pliniu să ajungă la o apreciere pesimistă a nemuririi: „... lipsiți de fericirea de a nu ne fi născut, să fim oare lipsiți de fericirea distrugerii?"

Comandant militar și demnitar în Roma imperială, Pliniu cel Bătrîn reușește abia spre sfîrșitul vieții, sub domnia lui Vespasian, să scape de dizgrația și de supli-

ciul care îi aşteptau pe toţi patricienii. Şi atunci, el şi-a sistematizat *Istoria naturală* în mai multe volume. În anul 79 e.n., Pliniu cel Bătrîn şi-a pierdut viaţa, sufocat de fumul şi de cenuşa erupţiei Vezuviului, care a distrus oraşele Pompei şi Herculanum.

Cele 37 de cărţi ale *Istoriei naturale* sînt, în primul rînd, o sinteză a 2 000 de lucrări scrise de 146 autori romani şi de 328 străini. Despre acestea este vorba în prima carte. Cartea a doua este consacrată astronomiei, geografiei fizice şi meteorologiei. Următoarele cinci cărţi conţin descrierea fizico-geografică, etnografică şi politico-geografică a ţărilor Pămîntului. Urmează apoi cîteva cărţi în care sînt descrise animalele. 16 cărţi se ocupă de botanică. Apoi cărţi consacrate medicinei, metalurgiei, picturii şi culorilor, sculpturii şi, în sfîrşit, mineralogiei.

La baza sistematizării acestui material de un volum imens stau nevoile practicii. Pliniu descrie amănunţit utilizările posibile ale animalelor, ale plantelor, ale mineralelor. Copacii sînt împărţiţi în exotici, aromatici, ornamentali, fructiferi. Datele fiziologice lipsesc aproape pretutindeni. Totul este pătruns de ideea finalităţii, în forma ei cea mai antropocentrică: „Natura, precum se vede, a creat totul pentru om, copleşindu-l cu darurile ei...“ Cît de departe este aceasta de biologia în ansamblu cauzală a lui Aristotel şi a lui Teofrast şi cît de clar se vede lipsa criteriului cauzal al adevărului. La Aristotel şi la Teofrast, figurează destul de multe relatări fanteziste, dar există un criteriu anumit: ceea ce era imposibil din punctul de vedere al reprezentărilor ştiinţifice generale, era eliminat. Şi iată că povestirile respinse de Aristotel nimeresc în cartea lui Pliniu, scrisă cu cinci secole mai tîrziu. La acestea se adaugă date despre religia elefanţilor, despre schimbarea anuală a sexului la hiene, despre cuvîntările rostite de o cioară în forum... Astfel de povestiri alternează cîteodată cu rezerve sceptice sau pe jumătate sceptice, dar rezervele nu-l împiedică pe Pliniu să umple capitolele următoare cu informaţii tot atît de fanteziste. Şi tot timpul cititorul îşi dă seama că lipsa de adevăr a expunerii nu rezultă din însuşirile personale ale autorului. Pliniu are şi spirit critic şi bun simţ; îi lipseşte un singur lucru: un criteriu din domeniul studiu-

lui naturii, o idee generală care să poată delimita într-o anumită măsură fantezia de adevăr. Pliniu îi rezumă des pe autorii greci. Aceste rezumate evocă figurile unor gînditori pentru care lumea era unitară și la care cunoștințele științifice suscitau îndoieli, dacă nu se integrau în schema cauzală a naturii unitare. Și alături de astfel de rezumate, Pliniu operează cu relatări ale funcționarilor romani care au văzut în natură în primul rînd o rezervă de copaci pentru grădinile Palatinului, de animale pentru Coliseu, de pietre pentru tezaurul cezarului. În Roma imperială, valoarea aplicativă a cunoștințelor științifice nu mai era un prilej pentru generalizări și sinteze ample și originale.

În *Istoria naturală*, „cauzele finale" figurează în forma teleologică cea mai degradată și mai plată: natura binefăcătoare a avut grijă ca toate nevoile omului să fie satisfăcute în modul cel mai bun. Desigur, Pliniu era în suficientă măsură fiu al secolului său sceptic, pentru a nu îmbina astfel de sentințe cu meditații pesimiste. Fraza despre natura binefăcătoare care îl copleșește pe om cu darurile ei se încheie întrucîtva surprinzător: „. . . astfel că nu deosebești totdeauna dacă ea este pentru el cea mai bună dintre mame sau cea mai rea dintre mamele vitrege". Dar acest refren nu modifică tendința teleologică generală a *Istoriei naturale*.

Este o deosebire cu totul esențială între „structura organismelor animale este adaptată la condițiile de trai" și „structura organismelor este adaptată la nevoile omului". Prima formulă nu contrazice explicația cauzală a fenomenelor naturii; dimpotrivă, ea indică condițiile care acționează prin aparatul cauzal ce determină alcătuirea organismelor. O astfel de explicație poate deveni punct de plecare pentru o idee filozofică universală. A doua formulă — concordanța dintre alcătuirea organismelor și nevoile omului — exclude o explicație cauzală și este, în acest sens, exterioară științei. Această din urmă expresie, „exterioară științei", nu trebuie înțeleasă în sensul de „exterioară științei care se dezvoltă istoric". Istoria științei este procesul eliberării ei consecutive de elementele care intră în concepțiile științifice, dar sînt străine de esența fundamentală determinantă a științei, anume de tendința cauzală.

Cunoștințele biologice nu mai puteau juca la Roma

rolul pe care-l jucaseră pe timpul lui Aristotel. Reprezentarea dependenței unei serii de „cauze eficiente" locale de rezultatul lor integral nu se mai putea alimenta din rădăcinile vii ale științei care căuta cauzele fenomenelor observate. De aceea, ideea de cauze finale a început să degenereze într-o concepție teleologică asupra lumii, semănînd cu construcțiile teleologice ale stoicilor din secolul al III-lea — al II-lea î.e.n. Trecerea gîndirii filozofice la problemele etice, la considerațiile moralizatoare despre înțelepciunea Providenței s-au extins și la gîndirea din domeniul studiului naturii. În Roma imperială, literatura științifică a fost umplută cu declamații lipsite de conținut, care nu ar fi putut să apară în vechea Grecie și nici măcar în perioada elenismului.

În timpul decăderii Imperiului Roman, gîndirea antică s-a îndepărtat foarte mult de intuiția inițială, genial de naivă asupra unității lumii, care croise drum diverselor explicații cauzale. Această unitate a început să fie concepută în sens platonic: procesele din natură se desfășoară astfel, încît lumea în ansamblul ei să se apropie de prototipul ei ideal, care există în exteriorul lumii, o precede și îi determină starea optimală. Neoplatonicienii comentatori ai lui Aristotel au epurat reprezentările sale de tot ce conducea la cunoașterea aparatului diferențial al cauzelor eficiente, adică ceea ce apropia imaginea integrală a lumii de prototipurile antice ale concepției mecaniciste asupra lumii. În știință, apăreau astfel tot mai frecvent noțiunile necauzale de „simpatii" și „antipatii".

Așa se destrăma tabloul integral-continuu al lumii. El își păstra învelișul exterior, dar în acest înveliș lipsea acum principalul: o reprezentare generală despre lume care să nu împiedice, ci, dimpotrivă, să deschidă drum căutărilor unor legi diferențiale ale existenței. Aceste căutări au urmat căi diferite. Ele aveau loc sau se pregăteau în diverse domenii ale cunoașterii, care se despărțiseră unele de altele. În particular, după cum am mai arătat, căutările unor legi diferențiale erau pregătite de generalizarea matematică a fizicii aristotelice. Geometria lui Euclid era o schemă matematică, care aștepta un nou conținut fizic: mecanica clasică a unor mase discrete în mișcare.

Orientarea dezvoltării științei poate fi apreciată retrospectiv și înțeleasă din punctul de vedere al rezultatelor ei din trecutul îndepărtat. Însă adevărata cauză care stimulează știința spre astfel de rezultate putea fi numai dezvoltarea forțelor de producție; aceasta condusese pînă la urmă la descoperirea autentică a globului terestru, la dezvoltarea meșteșugurilor, iar apoi a industriei, ultima diferențiind procesele de producție și permițînd, datorită acestui fapt, să fie aflate legile elementare ale mecanicii, pe baza cărora s-a creat o nouă imagine a lumii — prima imagine a lumii care a atins o dezvoltare completă și sistematică.

Să revenim la procesul descompunerii imaginii antice asupra lumii. Teleologia mistică a neoplatonicienilor a fost una dintre direcțiile acestei descompuneri. O altă direcție a fost elaborarea dogmaticii creștine, care începe în secolele al IV-lea — al V-lea e.n. Cel dintîi și cel mai strălucit reprezentant al acestei direcții a fost Fericitul Augustin (354—430), originar din Africa de Nord, episcop de Hippo. Era o fire contradictorie și zbuciumată. Augustin trece de la Cicero la sectele mistice ale Orientului, apoi la Platon și la neoplatonicieni și, în sfîrșit, la creștinism. Dogmatica creștină a lui Augustin cuprinde concluzii teleologice și teologice din noțiunile filozofiei antice. În ansamblu, dogmatica lui Augustin afirmă o armonie teologic prestabilită, o armonie care exprimă rațiunea divină. „Dumnezeu a stabilit concordanța dintre părți și armonia lor, nu numai în cer și pe pămînt, nu numai în înger și în om, dar și în organizarea lăuntrică a celui mai mic și mai disprețuit animal, în firul de puf al unei păsări, în înflorirea cerealelor, în frunzele copacilor".

Zoologia și botanica lui Aristotel și Teofrast deschideau drum teleologiei și, totodată, „cauzele finale" care determinau mersul ontogenezei și structura organismelor deschideau drum unei explicații raționale, cauzale. Dogmatica lui Augustin arată încotro duce concepția cauzelor finale dacă uităm, ignorăm, negăm această a doua linie. Dar Augustin, fiind primul reprezentant al dogmaticii creștine, în el mai pulsează gîndirea antică și aceasta îl atrage, cîteodată, spre imagini care zugrăvesc mecanismul acțiunii cauzelor finale. Universul are configurația optimă prestabilită de creator. Armonia

este determinată teleologic: alcătuirea lumii corespunde folosului și frumuseții maxime, aceste criterii coincizînd. Răul existent în lume este tot atît de necesar ca și contrastele în operele de artă.

Augustin înclină către reprezentarea de timp absolut ca succesiune de stări psihice lăuntrice, de *timp ca atare,* care poate fi măsurat cu orice obiect în mișcare și care este, în acest sens, independent de mișcarea unui corp concret, de exemplu a stelelor, a Soarelui și a Lunii.

„Am auzit de la un bărbat învățat — scrie Augustin — că mișcările Soarelui, Lunii și stelelor sînt timpul, și nu am spus nimic. Dar atunci de ce să nu fie mișcările altor corpuri timp? Oare dacă s-ar opri corpurile cerești, iar roata olarului s-ar mișca, nu ar exista timpul măsurat de rotațiile roții olarului? Noi am spune că ea se mișcă uniform (rotațiile ei au loc în intervale de timp egale). Poate am spune că rotațiile au loc într-un timp neuniform, că unele durează mai mult, iar altele mai puțin. Căci «stelele cerești sînt puse drept semne». Și în adevăr, ele sînt semne care determină anii, zilele și în genere timpul. Dar dacă nu m-aș apuca să afirm că rotațiile unei roți de lemn sînt timpul, nu aș sta, pe de altă parte, să contest că rotația unui cerc este timp... Să nu-mi spună deci nimeni că timpul este mișcarea corpurilor cerești. Cînd Soarele a fost oprit în urma rugăciunii unui om, pentru ca omul să cîștige victoria, Soarele stătea, iar timpul curgea"[1].

Augustin a murit în momentul cînd vandalii asediau orașul său natal. Lumea antică pierea, comerțul era în declin, populația orașelor murea sau se risipea. Acest proces de distrugere a civilizației antice a durat mai multe secole. În urma lui, știința antică a fost dată aproape complet uitării. Elemente fragmentare ale acestei științe din domeniul gramaticii, al retoricii și al logicii (celebra triadă inferioară a învățămîntului medieval, *triviul,* de unde provine și cuvîntul „trivial") au fost preluate într-o formă extrem de simplificată de către un mic număr de clerici și de un număr și mai mic de laici. Treapta următoare, *cuadriviul* (aritmetica, geometria, astronomia și muzica), era cunoscută de

[1] Aurelii Augustini, *Confessiones,* L., XI, C. XXIII.

foarte puțini oameni. Toate cele șapte „arte liberale" erau considerate drept trepte care conduc la cunoașterea lui Dumnezeu, iar în secolul al XI-lea, cardinalul Petru Damiani a proclamat știința „slujitoare a teologiei".

Moștenirea științifică a lumii antice, cuprinsă în triviu și în cuadriviu, era extrem de îngustă. Tot atît de înguste și denaturate erau fragmentele din știința antică intrate în enciclopedia evului mediu timpuriu. În secolul al VII-lea s-a bucurat de o largă celebritate *Etimologia* lui Isidor din Sevilla (560—636), o compilație a Bibliei, a filozofiei antice și a patristicii din secolul precedent. În secolul al IX-lea, *Etimologia* lui Isidor a fost prelucrată de Rabanus Maurus. Acesta a redus conținutul ei științific și l-a extins pe cel teologic. Aceste cărți arată în mod evident cît de adînc decăzuse știința. Expunerea ideilor antice, a științei antice în literatura teologică a evului mediu timpuriu îi apare ca o monedă uzată chiar și unui admirator al culturii creștine cum este Pierre Duhem: ea este acceptată, dar cu greu i se mai poate ghici desenul inițial[1].

Rusia din secolele al X-lea — al XII-lea a cunoscut o literatură analogă. După creștinarea Rusiei au apărut: o traducere a *Convorbirilor pentru șase zile* a lui Vasile cel Mare (329—379), unele prelucrări ale acestei cărți aparținînd lui Ioan Exarhul (secolul al X-lea), *Cuvîntul despre adevărata credință* aparținînd lui Ioan Damaschin (secolul a VIII-lea), *Topografia creștină* a lui Cosma Indicopleustes (secolul al VI-lea), *Cronica* lui Gheorghe Amartol, precum și unele traduceri ale altor lucrări din patristica orientală. În *Cronica* sa, Amartol vorbește, de exemplu, despre atomistica lui Democrit („adică despre acele corpuri care sînt de netăiat și de neîmpărțit... deoarece nu pot fi tăiate și împărțite"). Astfel de date fragmentare sînt amestecate cu denigrări ale gînditorilor păgîni. Paralel cu traducerile, apar în secolele al XI-lea — al XIII-lea scrieri originale asemănătoare. Cea mai cunoscută dintre ele este *Palea tîlmăcită*, alcătuită în Rusia kieveană, o sinteză de date extrase din Biblie și din patristica orientală.

---

[1] Vezi P. Duhem, *Le système du monde*, vol. II, Paris, 1914, pp. 395—396.

Dar știința antică avea să pătrundă în Europa printr-un curent mult mai puternic și mai pur. Cînd în anul 529, Justinian a interzis școlile filozofice păgîne din Atena și din toate celelalte orașe supuse Imperiului Roman de Răsărit, mulți învățați s-au mutat în Persia, unde s-a format un centru științific la curtea lui Hosroe I. Aici autorii antici erau traduși în limba siriană *(aramee)*. Ulterior, ei au fost traduși în limba arabă.

În secolul următor au început cuceririle arabe. Ele au fost însoțite de o distrugere a focarelor culturii antice și, totodată, de o anumită preluare a elementelor acesteia. În anul 640, armatele lui Omar au distrus Biblioteca din Alexandria. Curînd însă, traducătorii și comentatorii arabi au apărut în Antiohia, iar apoi, pe la începutul secolului al IX-lea, la Bagdad.

În cursul secolelor al VII-lea—al XII-lea, expansiunea arabă a cuprins Iranul, Egiptul, Siria, India și Mesopotamia. La începutul secolului al VIII-lea, califatul stăpînea teritoriul imens de la Gibraltar și pînă la Ind, inclusiv tot nordul Africii, Arabia, Palestina, Siria, Iranul, Asia Centrală și India de Nord-Vest. Drumurile comerciale ale arabilor porneau spre Africa Centrală, spre Europa de vest, spre Novgorod, spre Ceylon și spre China. Puterea arabilor s-a întins în sfîrșit asupra Peninsulei Iberice. În secolele al X-lea—al XI-lea, califatul din Cordoba era centrul științei, unde era amplu studiată și comentată moștenirea antichității. În același timp, în Orient, arabii au descoperit traducerile siriene ale scrierilor lui Aristotel, le-au tradus în arabă, iar apoi au procedat la fel cu alte opere clasice ale Greciei și ale Romei antice.

În secolele al IX-lea-al X-lea a existat la Bagdad o importantă școală de învățați care continuau tradiția antică. În secolul următor, al XI-lea, avîntul științei își atinge apogeul în țările Orientului arab. În anul 980 se naște Abu-Ali Ibn Sina la Buhara. În Europa numele său a fost latinizat și cunoscut sub forma de Avicenna.

Dintre cărțile lui Avicenna prezintă cel mai mare interes *Canonul medicinei*, pe care l-au utilizat medicii europeni și arabi din generațiile următoare și *Cartea vindecării*, o enciclopedie a filozofiei, a logicii, a matematicii și fizicii. Evoluția ideilor lui Aristotel în comentariile lui Avicenna este extrem de contradictorie.

Există și aici o anumită *revenire* la adevăratul Aristotel și, totodată, o transformare continuă a „dezacordului naiv" și viu al lui Aristotel în problema cauzelor finale într-o concepție teleologică și teologică asupra lumii. Avicenna spune că lumea este un rezultat al gîndirii lui Dumnezeu despre sine. „Rațiunea divină precede existența lucrului și conține ideea generală a fiecărui lucru. Această idee generală este conținută apoi în lucrul însuși și, în sfîrșit, rațiunea umană o descoperă". În această îmbinare a neoplatonismului cu dogmatica religioasă a islamului nu găsim ideea atît de caracteristică pentru Aristotel despre lucrurile concrete, singurele în care există universalul. De aici a dispărut tratarea suplă, vie, cîteodată naivă a reprezentării despre dependența diverselor procese din lume, în ansamblul ei. Ea este înlocuită cu o reprezentare teologică și teleologică dogmatizată.

Dar aceasta nu este decît o latură a problemei. Oricît s-a îndepărtat Avicenna de dialectica vie a lui Aristotel, el expune operele autentice ale filozofului antic și, mai mult, vorbește despre eternitatea lumii, despre legitatea firească a evenimentelor care se produc în lume. Această idee se ciocnește de tendințele dogmatice din creația contradictorie a lui Avicenna și transformă scrierile lui Avicenna într-o importantă etapă a răspîndirii noțiunilor raționale ale științei antice în gîndirea medievală.

Ideea eternității lumii și a necesității firești a evenimentelor ce au loc în ea a determinat proteste energice din partea teologilor musulmani. Reacțiunea s-a intensificat mai ales spre sfîrșitul secolului al XI-lea. În cercurile care sprijineau teologia oficială, a apărut o doctrină care nega total necesitatea firească din natură. Dacă un lucru se aprinde în contact cu focul, cauza nu este focul, ci voința lui Dumnezeu, care, în fiecare caz în parte, servește drept cauză nemijlocită a tot ce se întîmplă în lume. Pe la jumătatea secolului al XII-lea, reacțiunea a determinat paralizarea aproape completă a gîndirii științifice în țările Orientului arab.

Gîndirea științifică a continuat să se dezvolte în partea de vest a califatului, la Cordoba. Punctul culminant al dezvoltării peripatetismului arab a fost o lucrare din

secolul al XII-lea, scrisă de Ibn Roşd, în transcripţie europeană Averroes (1126—1198).

Vom expune numai un singur fragment din Averroes la cartea a XII-a a *Metafizicii* lui Aristotel. Există două puncte de vedere asupra originii fiinţelor, spune Averroes. Unul ia ca punct de plecare *dezvoltarea:* factorul activ extrage o fiinţă din alta, el fiind un fel de motor care transformă o fiinţă în alta, fără a crea existenţă din nimic şi fără a transforma existenţa în nimic. Adepţii celuilalt punct de vedere pleacă de la *creaţie:* factorul activ creează o fiinţă din nimic. Aristotel are un al treilea punct de vedere: factorul activ pune în mişcare materia existentă, realizează posibilităţile ascunse în ea şi dă materiei o formă determinată. Aceasta este mişcarea determinată de rezultat, dar însuşi acest rezultat este dinainte inerent materiei.

În comentariul lui Averroes, foarte apropiat de textul lui Aristotel, se văd limpede rădăcinile biologice ale reprezentării de materie ce conţine potenţial forma pe care o capătă în urma mişcării. Şi, în adevăr, comentariul citat se referă la o problemă biologică — problema apariţiei spontane a organismelor. Dar aici se vede şi importanţa universală a concepţiei mişcării spre o formă dinainte determinată pentru teoria naturii în ansamblul ei.

Averroes subliniază în concepţia lui Aristotel identitatea cu sine a subiectului mişcării. Subiectul respectiv se mişcă, se schimbă, ia o formă nouă, dar această formă există în potenţă anterior mişcării. La Averroes, cauza finală este interpretată într-un sens vădit neteleologic. Forma, care determină mişcarea, nu numai că urmează mişcării, nu numai că se realizează ca rezultat al mişcării, dar o şi precede, fiind cuprinsă în materia însăşi, cauzele finale realizîndu-se în cauzele eficiente, iar de aici rezultă că Averroes nu barează drumul spre o explicaţie pe deplin cauzală a fenomenelor naturii. Mai mult, în comentariul reprodus, el conturează o schemă cauzală pentru apariţia spontană a organismelor. Cauza finală — forma organismului — este prezentă în materia din care apare organismul. Cauza eficientă este *căldura,* care este în cazul de faţă motorul ce trezeşte nemijlocit la viaţă organismul nou apărut. Desigur, această explicaţie ne pare fantezistă, deoarece

este vorba, în fond, despre un proces fictiv, însă, din punct de vedere istoric, explicaţia apariţiei spontane a organismului, a cărui formă este cuprinsă în structura materiei, respectiv explicarea acestei apariţii prin acţiunea căldurii, prezintă un interes considerabil. Averroes trece de la concepţia teleologică, dominantă în peripatetismul medieval, la punctul de vedere aristotelic originar, care deschide drum unei explicaţii cauzale.

Această tendinţă a lui Averroes este legată de o importantă dezvoltare a cunoştinţelor ştiinţifice pozitive în lumea arabă în general şi în califatul de la Cordoba în special. Pe această bază s-a produs apropierea de adevăratul Aristotel (după cum se exprimă Herzen — de „Aristotel fără tonsură"),care este un merit istoric al gîndirii arabe medievale.

Europa occidentală a suferit curînd energica influenţă culturală a Orientului. În secolul al XII-lea, încep cruciadele. Ele au permis Europei să cunoască tehnica şi ştiinţa arabilor. Şi mai importante au fost însă progresele din tehnica şi din cultura Europei, legate de cruciade. După cum spune Engels, „... industria s-a dezvoltat colosal în urma cruciadelor şi a scos la iveală o mulţime de noi realizări mecanice (ţesătoria, ceasornicăria, morăritul), chimice (vopsitoria, metalurgia, alcoolul) şi fizice (lentilele), care au furnizat nu numai un material imens pentru observaţie, dar şi cu totul alte mijloace de experimentare decît cele de pînă atunci şi au permis construirea de noi instrumente. Se poate spune că ştiinţa experimentală sistematică propriu-zisă a devenit posibilă abia din acest moment"[1].

Elementul laic viu a determinat cercuri relativ largi să părăsească învăţarea pe de rost a scrierilor părinţilor bisericii. În aceste cercuri, s-au dezvoltat simpatii pentru cultura arabă şi în genere pentru cea orientală, în particular pentru elementele ei devenite cunoscute după cruciade, precum şi pentru averroism. Averroes şi însuşi Aristotel au devenit suspecţi în ochii bisericii. Averroismul se răspîndea. În anul 1255, din însărcinarea Scaunului papal, Albert cel Mare (1193—1280) a publicat o carte împotriva lui Averroes, iar în 1271, Toma din Aquino (1225—1274), discipol al lui Albert,

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, p. 168.

scrie o carte, de astă dată împotriva *averroiștilor*. Universitatea din Paris a interzis de repetate ori studiul tratatelor științifice ale lui Aristotel.

Interesul sporit pentru adevăratul Aristotel și pentru averroism se îmbina cu interesul, indus de avîntul tehnico-științific care a urmat cruciadelor, pentru noile cunoștințe de fizică, chimie și mecanică și pentru noua metodă experimentală, prin care au fost dobîndite.

Roger Bacon (1214?—1292?) vorbește, în scrierile sale, despre observație empirică, despre experiment și despre matematică, ca fundamente ale cunoștințelor din domeniul studiului naturii. El a cercetat personal unele probleme concrete ale fizicii. Lucrările lui Roger Bacon sînt pătrunse de credință în puterea rațiunii, el descrie mecanismele viitorului (aparate de zbor, vehicule fără cai, corăbii fără vîslași și pînze, aparate care permit să fie văzute obiectele cele mai îndepărtate și cele mai mici).

În secolul al XIII-lea, criza scolasticii se conturează evident și începe în secolul al XIV-lea. „Nominaliștii", care neagă existența autonomă a noțiunilor universale, îi atacă energic pe „realiști", apărătorii ortodoxali ai realității lor. În secolul al XIV-lea, nominaliștii încep o ofensivă relativ largă împotriva temeiurilor scolasticii teologice.

Occam (mort în anul 1349 sau 1350) apără dreptul științei de a rezolva singură problemele studiului naturii, fără amestecul bisericii. Occam scrie că șirului de noțiuni abstracte nu-i corespunde nimic real. Sînt reale corpurile materiale, însă mișcarea acestor corpuri nu are realitate autonomă, ea nu face decît să descrie proprietățile (schimbările de poziție) realității autonome, care este corpul fizic. Aceasta este, bineînțeles, o formă cu totul embrionară a noilor idei științifice, dar caracterul acestor idei, de care știința secolului al XIV-lea se apropie, încă timidă în persoana lui Occam, nu mai suscită îndoieli.

Nicolai din Oresme (1323?—1382?), contemporan mai tînăr al lui Occam, combate astrologia și magia. El vede în scrierile lui Aristotel fundamentul ideilor științifice raționale și traduce aceste lucrări în limba franceză, pe care o îmbogățește cu termeni noi.

În 1346, biserica catolică a condamnat o carte a lui Nicolai din Autrecour (1300? pînă după 1350?), care dezvolta ideile atomisticii antice.

Nominaliștii au ocupat poziții relativ tari la Facultatea de arte de la Universitatea din Paris (adică la facultatea unde, între alte materii, se predau matematica și științele naturii). Aici își ținea prelegerile Jean Buridan (mort aproximativ în 1358). Cartea lui Buridan *Comentarii la Fizica lui Aristotel* a fost scrisă la sfîrșitul vieții și tipărită abia în 1509. Din această carte se vădește o tendință semnificativă și, neîndoios, nouă. Buridan introduce în sfera ideilor aristotelice anumite completări atomistice. De exemplu, el definește *locul* unui corp (care este, după Aristotel, suprafața interioară a corpurilor înconjurătoare), ca pe un strat subțire. De ce poate fi luat acest strat cu întindere, cu grosime nenulă, drept o suprafață? Putem face aceasta, răspunde Buridan, deoarece suprafața este un corp avînd una dintre dimensiuni atît de mică, încît nu intervine în problemă și poate să nu fie luată în considerare la rezolvarea problemei. Aplicăm denumirea de „corp" unui volum, dacă problema cere să ținem seama de toate trei dimensiunile, dacă toate trei dimensiunile sînt considerabile. Această concepție a dimensiunii geometrice (punctul este un segment de lungime neînsemnată, linia — o fîșie foarte îngustă, suprafața — un corp foarte subțire) ne permite să punem într-un mod nou problema divizibilității spațiului. Un corp este constituit dintr-un număr *practic* infinit de suprafețe care trec prin el, iar un segment — dintr-un număr *practic* infinit de puncte. Acest criteriu de mărime este ceva apropiat de versiunea leibniziană a mărimii infinit mici (un fir de nisip la cercetarea unui munte de nisip). Rădăcinile acestei concepții sînt atomistice. Urmîndu-l pe Occam, Buridan considera real numai corpul, dar el nu neagă realitatea punctului, deoarece punctul posedă o anumită întindere mică, neglijabilă.

Secolul al XIV-lea, cu avîntul său tehnico-științific, putea să conducă numai la străfulgerări ale noii concepții despre lume. Secolele următoare — epoca unor mari progrese tehnice de producție, culturale și politice — au dus la crearea unei astfel de concepții noi.

Trebuie subliniată strînsa legătură dintre aristotelism și această nouă concepție, care ia ca punct de plecare omogenitatea spațiului unde se mișcă părți discrete ale materiei. Trecerea la concepția heliocentrică asupra lumii, iar apoi la reprezentarea de spațiu omogen infinit, în care nu există direcții privilegiate și nici puncte privilegiate, s-a bazat pe o anumită tendință lăuntrică a aristotelismului. Vom vedea curînd cum s-a modificat rolul mișcărilor circulare perfecte, cînd Galilei le-a adus pe Pămînt, relativizînd astfel mișcarea punctelor și a sistemelor materiale de pe suprafața terestră și declarînd că această mișcare nu modifică mersul proceselor interne din aceste sisteme.

Trecerea de la imaginea aristotelică a lumii la tabloul mecanic al lumii din secolul al XVII-lea nu seamănă, așadar, cu o catastrofă de tipul cataclismelor lui Cuvier, după care viața este creată din nou pe un loc gol. În limitele concepției aristotelice originare, existau elemente, laturi, nuanțe, tendințe care o depășeau, avînd nevoie pentru generalizarea lor de noțiunea de spațiu vid infinit, în care se mișcă părți discrete ale materiei indestructibile și lipsite de calitate. Tabloul mecanic al lumii nu s-a mărginit doar să ia locul aristotelismului, ci a rezolvat contradicțiile cosmologiei și ale fizicii aristotelice, a reconsiderat noțiunile lui Aristotel, a pus în evidență necesitatea unor modele atomiste și a noțiunii de spațiu vid infinit pentru soluționarea contradicțiilor din știința peripatetică a naturii.

CAPITOLUL V

IDEILE ŞTIINŢIFICE ALE RENAŞTERII

Caracterizarea ştiinţei din secolele al XV-lea—al XVI-lea rezultă din caracterizarea dezvoltării ştiinţei în evul mediu. Evul mediu a fost trecerea de la concepţia aristotelică la primele schiţe ale imaginii mecanice asupra lumii. În epoca Renaşterii, aceste schiţe au apropiat ştiinţa de geneza ştiinţei mecaniciste a naturii. De aceea, ştiinţa din secolele al XV-lea—al XVI-lea nu poate fi considerată o renaştere a reprezentărilor care au dominat în vremurile antichităţii, după cum nici cultura acestei perioade nu poate fi redusă la o simplă reînviere a culturii antice. Imaginea lumii care s-a dezvoltat în epoca Renaşterii şi s-a constituit în linii mari în secolul al XVII-lea era o nouă imagine a lumii. Ea avea rădăcini şi prototipuri antice, îmbinînd şi reconsiderînd într-un mod nou ideile antice, de unde reiese şi numele de „Renaştere", adică renaşterea ideilor antichităţii. Dar aceasta nu este decît una dintre laturile noţiunii de renaştere, şi nicidecum cea mai importantă. Evul mediu a pregătit Renaşterea într-o accepţie mai largă, şi tocmai de aceea el nu poate fi considerat drept o pauză milenară în istoria omenirii. În evul mediu au fost create premisele unui puternic avînt tehnic şi intelectual, care a reînviat şi a reconsiderat moştenirea antichităţii, creînd totodată o cultură şi o ştiinţă principial noi. Navigatorii medievali (normanzii, saxonii, frizienii, novgorodienii) şi participanţii la expediţiile terestre spre Orient au pregătit epoca marilor descoperiri, care au fur-

nizat culturii o bază geografică incomparabil mai largă decît cea a antichității. Meșteșugarii medievali au pregătit tehnica Renașterii, iar în orașele medievale s-au maturizat premisele umanismului, ale răspîndirii literaturii antice, ale Reformei.

Noile trăsături ale științei nu se reduceau la observarea, la generalizarea și la metodele de studiu și descriere a naturii. S-au schimbat rolul științei în societate, atitudinea față de știință, stilul în care oamenii meditau asupra naturii.

Epoca Renașterii este împărțită de obicei — se înțelege, în mod convențional și aproximativ — în două perioade. În istoria culturii italiene s-a consacrat împărțirea în *quatrocento*, adică secolul al XV-lea și în *quinquecento*, adică secolul al XVI-lea. În afară de aceasta, istoricii culturii italiene mai leagă de Renaștere și secolul al XIV-lea, *trecento*, cînd în această țară au trăit mari premergători ai Renașterii, ca Giotto, Dante, Petrarca, și cînd a apărut în orașele italiene interesul pentru moștenirea literară a antichității.

Cultura din quatrocento, adică cultura primei perioade a Renașterii, a continuat cultura secolului al XIV-lea, din trecento, și a îmbrățișat începutul secolului următor. Vom aborda acum studiul unor tendințe ale acestei perioade, sub aspectul genezei noii imagini asupra lumii.

În orașele italiene, mai legate decît altele de comerțul mediteranean, meșteșugurile, cultura, viața socială și activitatea politică a orășenilor au căpătat cel mai important impuls din partea cruciadelor. Încă în secolul al XIV-lea existau aici ateliere meșteșugărești unde se produceau țesături, arme, nave și praf de pușcă, și de unde au ieșit totodată participanții la mișcările revoluționare ale epocii Renașterii, iar învățații și-au găsit, tot acolo, modele și noțiuni pentru explicarea naturii. Aici — la Florența, Genua, Bologna și Lucca — existau nu numai ateliere obișnuite, ci și mari manufacturi.

În secolele al XIV-lea—al XV-lea, orășenii, după ce au dărîmat castelele feudale, au continuat lupta împotriva aristocrației feudale în interiorul orașelor. Ei îi sprijineau pe monarhii care cîrmuiau orașele Italiei. În palatele ducilor, cardinalilor și condotierilor se strîngeau oameni ai culturii noi, care aveau o atitudine ironică față de religie, erau îndrăgostiți de cultura an-

tică, făceau să alterneze intrigile şi războaiele cu lectura lui Platon şi a lui Epicur. În cercurile nobilimii italiene era cultivat interesul pentru literatura antică. Acest interes îi separa cîteodată pe umaniştii italieni din secolul al XV-lea de oamenii legaţi de producţie, de meşteşug şi de tehnică. Pe măsura întăririi legăturilor dintre cercurile meşteşugarilor şi reprezentanţii noii arte, au apărut tot mai des oameni pentru care dictatura zdruncinată a bisericii trebuia să cedeze locul nu erudiţiei cărturăreşti a umaniştilor, ci studiului, descrierii şi zugrăvirii naturii. Ei tindeau să se elibereze nu numai de interdicţiile bisericii, ci şi de povara tradiţiilor literare pe care umaniştii le impuseseră gîndirii libere şi creaţiei libere. Reprezentanţii acestor cercuri se simţeau străini în mijlocul erudiţilor de la curte. Cu timpul, activitatea lor a devenit tot mai vădită.

Un reprezentant al acestor cercuri a fost geniul cel mai cuprinzător din quatrocento, Leonardo da Vinci (1452—1519). Ne vom servi de exemplul său pentru a ne familiariza cu unele izvoare istorice ale noului tablou al lumii.

Leonardo s-a născut cu un an înaintea evenimentului care poate fi considerat drept sfîrşit al evului mediu. În 1453, turcii cuceresc Constantinopolul. Imperiul Bizantin îşi încetează existenţa. O mulţime de greci emigrează în Italia. Emigranţii au adus cu sine monumente ale literaturii antice greceşti şi au devenit în societatea italiană fermentul interesului crescînd pentru întreaga cultură antică.

Cu puţin timp înainte (în 1440) se produsese un eveniment care a schimbat într-un mod radical condiţiile răspîndirii şi ale dezvoltării literaturii ştiinţifice şi beletristice: invenţia tiparului. În 1465, tiparul ajunge în Italia. Începe înflorirea erudiţiei cărturăreşti. Cartea devine un bun al unor cercuri considerabil mai largi decît în trecut. Numeroşi reprezentanţi ai păturilor culte din oraşele italiene pot să cunoască moştenirea antichităţii. Umanismul italian atinge punctul culminant al dezvoltării sale.

În timpul acesta, Leonardo trăieşte la Florenţa, unde familia sa se mutase din Vinci, oraşul în apropierea căruia se născuse Leonardo. Aici, tînărul învaţă la remarcabilul pictor şi sculptor Verrocchio. În atelierele de

pictură și de sculptură ale Florenței, în rînd cu atelierele giuvaergiilor, precum și în celelalte ateliere meșteșugărești se formau noile reprezentări asupra naturii, deși ele nu puteau să-și găsească încă o expresie mai mult sau mai puțin precisă. Meșteșugarii și artiștii, strîns legați între ei prin interese spirituale și materiale, nu puteau găsi ecou pentru noile idei și stări de spirit în erudiția umaniștilor care domnea în palatele florentine. Interesele mediului în care creștea Leonardo erau îndreptate spre natură. Reprezentanții acestui mediu vedeau natura prin prisma experienței lor de artiști, meseriași, ingineri și constructori, ei intuiau în natură legi mecanice, fără a ști măcar să le dea un nume. În artă, îi atrăgeau precizia perspectivei, exactitatea proporțiilor, reprezentarea cît mai fidelă, aproape științifică a naturii.

Interesele artistice, tehnico-inginerești și științifice ale acestui mediu s-au contopit într-un singur tot la un mare număr dintre reprezentanții săi cei mai activi și mai talentați. Îmbinarea acestor interese nu a fost o trăsătură personală a lui Leonardo; mai exact, această trăsătură a genialului florentin corespundea intereselor mediului său ambiant. Încă în tinerețe, Leonardo desena tot felul de mașini și proiecta scheme ale unor instalații hidrotehnice pe rîul Arno. Din această perioadă datează un mare număr de schițe științifico-tehnice, și, lucrul cel mai important, chiar în această primă perioadă florentină a vieții sale, interesele științifico-tehnice și artistice ale lui Leonardo erau legate între ele într-un mod foarte profund, deși încă de loc explicit.

La curtea lui Laurențiu Magnificul, interesele tehnico-inginerești și științifice erau pe al doilea plan; de altfel și pictura și sculptura trebuiau să cedeze primul loc studiilor din domeniul filozofiei platonice. Filozofiei îi făcea concurență o poezie stilizată după modele antice. Pictura și sculptura, și cu atît mai puțin creația tehnico-științifică nu puteau să-i conteste filozofiei și poeziei atenția ce o aveau din partea ducelui și a curtenilor.

Atacurile permanente ale lui Leonardo la adresa erudiției umanistice, la adresa predominării poeziei și a filozofiei în detrimentul picturii și al tehnicii, oglindeau starea de spirit a mediului său. Această stare de spirit cuprindea și sentimentul propriu-zis de nedreptățire al

artiştilor: pictura nu făcea parte din rîndul „artelor liberale", iar artiştii, ca şi meşteşugarii, în rîndul cărora erau clasificaţi slujitorii „artelor mecanice", nu erau invitaţi la masa ducelui. Aici existau însă şi poziţii de principiu: la Leonardo, ditirambele la adresa văzului şi a picturii (se înţelege, nu numai ditirambele, ci şi creaţia artistică) au o importanţă esenţială *pentru scoaterea în vileag a izvoarelor tabloului mecanic al lumii.*

Leonardo spune că pictura este în primul rînd o ştiinţă. Această teză este una dintre pietrele de hotar ale concepţiei lui Leonardo asupra lumii. Creaţia artistică a lui Leonardo nu poate fi înţeleasă dacă nu luăm în considerare patosul cunoaşterii naturii. Acest patos străbate nu numai însemnările din caietele de note ale lui Leonardo, ci şi pictura sa. Perspectiva, reproducerea exactă a particularităţilor anatomiei umane, alegerea precisă a ingredientelor pentru vopsele (cît de des au dus experimentele din acest domeniu la distrugerea unor pînze!) sînt la Leonardo căi pentru cunoaşterea cea mai profundă şi mai adecvată a lumii. În conformitate cu aceasta, ştiinţa ia de asemenea ca punct de plecare perceperea prin văz a lumii.

Ce este ştiinţa care pleacă de la perceperea vizuală a lumii, la ce generalizări conduce o astfel de ştiinţă, ce tablou se constituie în ştiinţă dacă modelele sale iniţiale sînt relaţii percepute vizual?

Simţurile cărora Leonardo le refuză epitetul de „nobile" — acest epitet el îl atribuie numai văzului — pun în evidenţă proprietăţile nespaţiale ale corpurilor, senzaţiile muşchiulare dîndu-ne imagini dinamice iniţiale, pe cînd văzul ne ajută să percepem poziţiile relative ale lucrurilor din natură şi schimbarea poziţiilor lor. Se înţelege, văzul sesizează şi deosebirile calitative, de exemplu cele de culoare, dar în această direcţie secolul al XV-lea nu dădea posibilitatea de a pătrunde mai adînc în cunoaşterea ştiinţifică a lumii, iar ceea ce îi dădea picturii dreptul la titlul de ştiinţă nu era culoarea, ci desenul.

Dacă desenul, care fixează imaginile spaţiale, dă reprezentarea cea mai completă şi mai precisă a naturii, atunci, evident, relaţiile spaţiale reprezintă cea mai profundă taină a naturii: configuraţiile spaţiale sînt temelia ei substanţială. Astfel, se dezvoltă, într-o formă

neexplicită încă, o atitudine caracteristică față de natură, care a devenit apoi premisa explicării ei mecanice.

Leonardo compară adeseori senzațiile vizuale și pictura, pe de o parte, cu perceperea literar-livrescă a lumii, pe de altă parte. Și aici există un anumit subtext gnoseologic și ontologic. În evul mediu, aristotelismul se îndepărtase mult de obiectualitatea sa inițială. Natura era privită prin intermediul unei complexe construcții de noțiuni generale, fixate în literatura antică și în comentariile de mai tîrziu. Noua imagine a lumii se dezvolta din impresiile nemijlocite determinate de tehnică (se înțelege, de orientările tehnicii în care se dezvăluia fundamentul rațional mecanic al proceselor utilizate) și de natură. Desigur, noua imagine nu era ruptă nici de izvoarele literare, nu renunța la moștenirea antichității. Leonardo a citit mult, dar nu lectura, ci impresiile nemijlocite, experimentul, experiența artistică și tehnică au fost izvoarele principale ale concepției sale asupra lumii.

În 1483, Leonardo se mută la Milano. Se aștepta aici la mai multă atenție pentru interesele și planurile sale științifico-tehnice. Milanul era centrul prelucrării metalelor. În oraș și la curtea ducelui Lodovico Moro se făceau mari planuri arhitectonice și de construcții, pirotehnice și de fortificații. Dar nici în perioada milaneză a vieții sale, Leonardo nu a putut să-și ducă la îndeplinire cele mai multe dintre planurile sale artistice și științifico-tehnice.

În 1499, Milanul a fost cucerit de trupele franceze. Leonardo a fost nevoit să se întoarcă la Florența. A servit apoi ca inginer militar la Cesare Borgia, a trăit iarăși la Milano, apoi la Roma și, în sfîrșit, a plecat în Franța, unde a murit în 1519.

Soarta lui Leonardo, care nu a găsit o utilizare pentru interesele sale științifico-tehnice, reflectă începutul decăderii Italiei de Nord de la sfîrșitul secolului al XV-lea. Țara își pierduse poziția dominantă în comerț, populația orașelor scădea, neîntreruptele războaie interne frînau dezvoltarea culturii. În soarta ideilor științifice ale lui Leonardo, rolul principal i-a revenit neconcordanței dintre aceste idei și nivelul

cunoştinţelor concrete din domeniul studiului naturii şi al matematicii în secolul al XV-lea.

Leonardo este autorul proiectelor unor aparate de zbor şi al multor altor maşini. În domeniul studiului naturii îi aparţin idei originale referitoare la mecanică, hidromecanică, geologie, geografie, meteorologie, chimie, optică, anatomie, fiziologie şi botanică. Îl trimitem pe cititor la recenta şi foarte frumoasa ediţie de scrieri ştiinţifice alese ale lui Leonardo[1]. În prezent ne interesează numai principiile cele mai generale ale ştiinţelor naturii, exprimate în fragmentele lui Leonardo.

Noţiunea fundamentală în concepţia ştiinţifică despre lume a lui Leonardo este cea de cauză. Tot ce are loc în lume este determinat univoc de către o cauză: „Sesizează cauza şi nu mai ai nevoie de experienţă"[2]. Experimentul este prima verigă în căutarea cauzei. Căci „natura este plină de nenumărate cauze care nu au fost niciodată în experienţă"[3]. Avem aici premisa fundamentală a explicaţiei mecanice, diferenţiale a fenomenelor. Există obiecte şi procese foarte mici, invizibile, care pot fi definite numai speculativ şi din care se constituie rezultatele integrale observabile. Acestea sînt atomii şi mişcările lor. Însă ipoteza cauzelor inobservabile nemijlocit nu trebuie să contrazică observaţiile, ci să rezulte din observaţii. Există noţiuni scolastice, pe care Leonardo le califică drept „răsculîndu-se împotriva senzaţiilor". Acestea sînt lucrurile care nu se încadrează principial în sfera experienţei. Ele trebuie eliminate. Aşadar, întregul conţinut al ştiinţei trebuie să fie, *în principiu,* obiect al investigaţiei experimentale, însă în acest conţinut pot şi trebuie să intre lucruri pe care experimentul nu le-a descoperit încă. Aceasta constituie tocmai fundamentul reprezentării mecanice asupra naturii. Această reprezentare pleacă de la modele care sînt conţinut al experienţei: deplasări, rotaţii şi ciocniri ale corpurilor solide. Dar aceste

---

[1] Leonardo da Vinci, *Scrieri ştiinţifice alese.* Redactate, traduse (în limba rusă) şi comentate de V. P. Zubov, M., 1959. În cele ce urmează se citează paginile acestei ediţii.

[2] *Ibidem,* p. 253.

[3] *Ibidem,* p. 18.

modele se încadrează în experienţă şi admit o verificare experimentală numai într-un domeniu determinat.

Imaginea mecanică a naturii pleacă de la supoziţia că în domeniul în care deplasările, rotaţiile şi ciocnirile corpurilor solide nu pot fi puse în evidenţă în mod nemijlocit, ele sînt cauza proceselor calitative macroscopice observabile. Fenomenele care constau în modificarea proprietăţilor calitative şi în apariţia şi dispariţia corpurilor se explică prin deplasarea unor particule invizibile, fără calitate. Aşadar, experimentul ştiinţific înseamnă căutarea unui substrat al fenomenelor, substrat care nu este încă descoperit, dar care, în principiu, nu este în divergenţă cu experimentul. Rezultatele experimentului coincid, de aceea, cu demonstraţia teoretică, cauzal-mecanică, bazată pe noţiuni matematice.

Leonardo s-a apropiat de una dintre ideile cele mai importante ale explicaţiei mecanice a naturii: ideea omogenităţii spaţiului. În marele număr de izvoare literare ale creaţiei lui Leonardo figurau şi lucrările celui din urmă scolast al evului mediu, Nicolaus Cusanus (1401—1464), care a fost şi primul gînditor al Renaşterii, adversar al puterii papale, apoi cardinal. El este autorul unei doctrine de o genială profunzime despre „coincidenţa opuşilor" şi al unor consideraţii mistice teologice în care s-a pierdut această idee. Nicolaus Cusanus a fost un prevestitor al heliocentrismului şi totodată un iniţiator al tratării convenţionale a noului sistem cosmic. În tratatul *Despre docta ignoranţă* (1440), el spune că Universul nu are centru. Aşadar, pentru el, spaţiul cosmic nu are puncte privilegiate. Dar Nicolaus Cusanus consideră că un univers infinit şi omogen este de neconceput şi, în opoziţie cu raţiunea, care duce la contradicţii, el propune contemplaţia mistică, „docta ignoranţă". Nicolaus Cusanus are idei foarte profunde despre infinit, despre omogenitatea spaţiului, despre semnificaţia noţiunilor fundamentale ale geometriei. Unele idei ale lui Nicolaus Cusanus şi-au găsit dezvoltarea în fragmentele lui Leonardo. Cu toată simpatia sa pentru teologie, Duhem recunoaşte că dezvoltarea ideilor lui Nicolaus Cusanus este antiteologică la Leonardo.

„Am văzut mai sus — scrie Duhem — că ideile dezvoltate de Nicolaus Cusanus cu privire la geometrie l-au inspirat pe Leonardo. În scrierile lui Nicolaus Cusanus şi ale filozofilor platonicieni, pe care îi urma cardinalul german, aceste idei sînt orientate, în fond, spre un obiect teologic. Scopul lor constă în a trezi în mintea noastră impresia esenţei divine şi a izvoarelor ei misterioase, reprezentarea legăturii dintre esenţa divină şi natura creată. Leonardo ia aceste idei şi le transformă. El păstrează conţinutul geometric al ideilor şi elimină legătura lor cu teologia. Leonardo taie cu grijă din aceste idei numele lui Dumnezeu"[1].

Pentru Leonardo este caracteristică extinderea legilor care guvernează lumea supralunară la lumea sublunară. Această tendinţă s-a întîlnit şi s-a contopit ulterior cu procesul invers — extinderea la Cosmos a legilor mecanicii terestre — şi şi-a găsit încununarea în sistemul lui Newton. Pentru secolele al XV-lea—al XVI-lea era fundamentală depăşirea delimitării aristotelice dintre mişcările relative ale corpurilor eterice şi mişcările absolute din lumea sublunară.

Leonardo vorbeşte despre omogenitatea Universului, despre lipsa unui centru în el, răpindu-i-se astfel Pămîntului poziţia privilegiată, şi ajunge la ideea relativităţii şi a reciprocităţii mişcărilor corpurilor cereşti în jurul Pămîntului.

„...Pămîntul nu este în centrul cercului solar şi nici în centrul lumii, ci în centrul elementelor sale şi al celor strîns unite cu ele; şi cine s-ar aşeza pe Lună cînd ea este împreună cu Soarele dedesubtul nostru, acestuia Pămîntul nostru cu elementul apei i s-ar părea că joacă acelaşi rol ca şi Luna faţă de noi"[2].

Pe una dintre foile de însemnări ale lui Leonardo este notat: „Soarele nu se mişcă"[3].

Vom trece acum la contradicţia din creaţia lui Leonardo, care pare fundamentală, dacă vom considera concepţia despre lume a marelui florentin sub aspectul

---

[1] P. Duhem, *Etudes sur Leonardo da Vinci*, vol. II, Paris, 1908, p. 153.

[2] Leonardo da Vinci, *Scrieri alese* (ediţia rusă citată), p. 753.

[3] *Ibidem*, p. 736.

premiselor fundamentale ale tabloului mecanic al lumii.

Am arătat mai sus că Leonardo da Vinci interpreta creaţia artistică drept ştiinţă. El căuta taina naturii în imaginile spaţiale vizuale şi în proporţiile spaţiale. „Proporţionarea" îşi găsea expresia în aforisme frecvente de tipul lui „tot atîta cît şi"[1]. Leonardo voia să extindă proporţiile nu numai la imagini statice, ci şi la procese. Dar aici el s-a lovit de o dificultate esenţială. Multe procese din natură, dacă sînt caracterizate prin proporţii cantitative, au un caracter neliniar, mărimile variabile sînt într-o dependenţă neliniară de timp şi sînt legate între ele prin relaţii neliniare.

Nominaliştii secolului al XIV-lea au creat doctrina proceselor uniforme şi uniform accelerate[2]. Primele servesc ca exemplu pentru aşa-numitele modificări „uniforme" (omogene), celelalte pentru cele uniform-diforme (omogen-neomogene). Richard Sweeset şi Nicolai din Oresme au observat că modificarea uniform-diformă poate fi înlocuită printr-o modificare uniformă echivalentă: de exemplu, drumul parcurs printr-o mişcare uniform accelerată este egal cu drumul parcurs într-o mişcare uniformă cu media vitezei din mişcarea uniform accelerată. Toate aceste construcţii nu puteau deveni încă o teorie ştiinţifică. Pentru aceasta sînt necesare premise care nu au existat nici în secolul al XIV-lea, nici în următoarele două secole. Este vorba despre reprezentarea de viteză şi de acceleraţie într-un punct din spaţiu, ca limite ale unor rapoarte. Viteza medie poate fi considerată drept o mărime fictivă, constantă pe segmentul determinat. Ea încetează de a mai fi o noţiune fictivă pur matematică din punct de vedere fizic şi devine o noţiune fizică reală numai pe un segment unde viteza medie coincide cu cea reală, adică pe un segment unde mişcarea este caracterizată printr-o viteză invariabilă. În cazul general, viteza medie coincide cu viteza reală *la limită*, cînd contragem la un

---

[1] Vezi V. P. Zubov, comentarii la cartea: *Scrieri alese ale lui Leonardo da Vinci*, M., 1955, *Matematica*, pp. 946—952; *Ideile fizice ale Renaşterii*, în cartea: *Dezvoltarea ideilor fundamentale ale fizicii*, Editura Ştiinţifică, Bucureşti, 1960, p. 151.

[2] Vezi V. P. Zubov, *Din istoria atomisticii medievale*, în „Trudî IIE AN SSSR", vol. I, M.—L., 1947, pp. 299—301.

punct segmentul pe care corpul se mişcă cu o viteză variată, diferită de cea medie.

Într-o astfel de liniarizare constă premisa necesară a tabloului mecanic al lumii. Legile integrale capătă caracterul unor legi diferenţiale, cînd trecem de la schimbarea poziţiei la variaţia vitezei, cînd poziţia încetează de a mai fi funcţie liniară de timp. Cu alte cuvinte, completarea legilor integrale prin legi diferenţiale, stabilirea aparatului cauzal diferenţial prin care acţionează cauzele finale integrale, cînd este vorba despre mişcarea unui corp, necesită noţiunea de acceleraţie. Condiţiile integrale, de exemplu distribuţia maselor în spaţiul cosmic, determină mişcarea corpurilor în fiecare punct, dacă ţinem seama de forţele de interacţiune ale acestor mase şi de acceleraţiile corpurilor în fiecare punct, determinate de aceste forţe. În cazul cel mai simplu, considerăm acceleraţia uniformă, adică considerăm viteza în fiecare punct ca funcţie liniară de timp. Această reprezentare este fundamentul mecanicii clasice şi al imaginii mecanice a lumii. Această liniarizare permite trecerea de la legile integrale şi de la „cauzele finale" la legile diferenţiale şi la „cauzele eficiente", adică la cauzele care acţionează într-un punct dat şi la un moment dat.

Leonardo da Vinci cunoştea lucrările autorilor din secolul al XIV-lea, şi, în particular, teoria lor asupra variaţiilor uniforme şi diforme. Dar el nu se interesa de această teorie, dat fiind caracterul logic formal al construcţiilor lui Sweeset şi Oresme. Spiritul lui quatrocento cerea reprezentări noi, propriu-zis fizice, dar nici Oresme, nici ceilalţi gînditori din secolul al XIV-lea nu dispuneau de ele. Construcţiile rupte de experiment şi lipsite de conţinut fizic ale secolului al XIV-lea nu au dobîndit o formă definitivă nici sub raport formal. De aceea, Leonardo nu a avut la îndemînă o metodă matematică universală, care să-i permită să determine cantitativ legile naturii, adică legile mecanice care reduceau fenomenele naturale la deplasări spaţiale ale corpurilor. Cîteodată, Leonardo înlocuia dependenţele neliniare cu altele liniare. De exemplu, el era de părere că intensitatea iluminării este proporţională cu puterea întîi a distanţei la izvorul luminos. De cele mai multe ori, el se mărginea la caracterizarea

indefinită „cu cît mai mult, cu atît mai mult". De aceea, Leonardo nici nu a ajuns la o lege unică *(ragione)* care să înlocuiască, după intenţia sa, o mulţime de experimente particulare. Tendinţa către o ştiinţă matematică a naturii nu se putea realiza. În aceasta constă tragedia fundamentală a creaţiei lui Leonardo[1].

Pentru ca noua imagine a lumii să triumfe, era nevoie de un nou impuls, cel care a condus omenirea la comerţul mondial, la industria manufacturieră, la năruirea temeiurilor materiale şi ideale ale societăţii medievale. În 1492, Columb ajunge în America, iar în anul 1498 Vasco da Gama descoperă calea maritimă spre India. La începutul secolului următor, Magellan face ocolul globului terestru (1519—1522). Marile descoperiri au creat o bază geografică vastă pentru dezvoltarea industrială şi culturală, cum nu cunoscuse secolul al XV-lea; numai această dezvoltare era în stare să asigure crearea noii ştiinţe. Jefuirea coloniilor a determinat o revoluţie a preţurilor şi a accelerat trecerea valorilor materiale în mîinile burgheziei. Revoluţia tehnică din producţia meşteşugărească a devenit începutul unor progrese tehnice şi economice mai profunde, care au condus la apariţia manufacturii. În Italia, începe o nouă perioadă culturală, cinquecento, în cursul căreia apar sculpturile lui Michelangelo, picturile lui Rafael, iar în ştiinţă sînt create teorii care au pregătit nemijlocit generalizările lui Galilei.

Cultura secolului al XVI-lea s-a dezvoltat în condiţiile Reformei şi ale contrareformei care începe ceva mai tîrziu. În 1517, Luther afişează pe porţile catedralei din Wittenberg cele 95 de teze împotriva catolicismului; ele contează drept început al Reformei. Reforma este legată prin continuitate de războaiele husite şi de mişcările revoluţionare ale secolului al XV-lea. Ea a cuprins, într-o măsură sau alta, cele mai multe ţări ale Europei. Reforma a dus la răscoalele ţărăneşti care au depăşit cadrul războaielor religioase şi care şi-au atins punctul culminant la Münster.

În epoca acestor încordate lupte de clasă şi în atmosfera amintirilor vii despre războaiele husite ale seco-

[1] Cf. V. P. Zubov, *Ideile fizice ale Renaşterii*, în cartea: *Dezvoltarea ideilor fundamentale ale fizicii*, p. 153.

lului precedent s-a dezvoltat cultura umanistă a Poloniei, care l-a dat lumii pe Copernic (1473—1543). Nicolai Copernic, canonic de Frauenberg, organizator al luptei înarmate împotriva Ordinului Teuton, economist, medic și om de stat, a studiat la Cracovia și în Italia — la Bologna și la Padua. Încă în tinerețe, Copernic a scris un mic tratat, așa-numitul *Commentariolus*, al cărui manuscris a fost descoperit în 1877. În acest tratat, Copernic descrie cinematica mișcărilor planetare în sistemul solar. Pămîntul se află în centrul orbitei Lunii. Planetele se învîrtesc în jurul Soarelui. În afara mișcării pe orbită, Pămîntul se mai învîrtește în jurul axei. De aceea, de pe Pămînt poate fi observată mișcarea diurnă a întregii bolți cerești. Mișcarea anuală a Pămîntului în jurul Soarelui explică schimbarea cerului înselat și mișcarea aparentă a Soarelui în decursul anului. Toate mișcările corpurilor cerești se produc pe orbite riguros circulare; în această privință, Copernic nu părăsește tradiția antică și medievală. Particularitățile mișcării corpurilor cerești, care nu-și pot găsi o explicație cu ajutorul schemei simple a mișcărilor circulare, sînt explicate de Copernic cu ajutorul epiciclurilor.

Un moment de cotitură în dezvoltarea științei și a întregii culturi spirituale a omenirii (în 1543, cu puțin timp înaintea morții lui Copernic) l-a constituit apariția cărții *Despre revoluțiile sferelor cerești*. Această carte conține fundamentarea și expunerea sistematică a heliocentrismului.

Pentru a-și demonstra noul sistem al lumii, Copernic trebuia să spulbere argumentele lui Ptolemeu împotriva mișcării Pămîntului. După cum scrie Ptolemeu, rotația Pămîntului ar trebui să risipească corpurile aflate pe suprafața sa, iar căderea corpurilor pe suprafața terestră ar avea loc după linii oblice, deoarece aceste corpuri ar rămîne în urmă față de mișcarea suprafeței Pămîntului.

Pentru a combate aceste argumente, Copernic înlocuiește mișcarea naturală spre Pămînt, ca centru al lumii, prin mișcarea naturală îndreptată spre Pămînt, indiferent de poziția sa în spațiu. Așadar, nu omogenitatea spațiului este în fond cea care determină căderea corpurilor, ci însăși interacțiunea acestora. Dar Coper-

nic explică această interacțiune prin faptul că pe Pămînt sînt concentrate elementele care constituie corpurile grele. În ansamblu, argumentarea lui Copernic este bazată pe extinderea noțiunii de mișcări naturale la mișcarea Pămîntului.

Copernic spune că mișcarea Pămîntului, care este o mișcare naturală, nu poate încălca ordinea naturală de pe Pămînt, nu poate sili corpurile să se abată de la direcțiile perpendiculare pe suprafața terestră, nu poate împrăștia corpurile aflate la suprafața Pămîntului și nu poate purta spre vest norii și păsările care rămîn în urma suprafeței terestre în mișcare. În esență, acest răspuns ascunde o idee care a fost exprimată într-o formă explicită abia de Galilei. În adevăr, Copernic vorbește despre Pămînt și despre corpurile aflate pe el ca despre un sistem în care mișcarea nu-și schimbă direcția și viteza atunci cînd se mișcă sistemul în ansamblu. Avem de-a face aici cu reprezentarea unei mișcări care nu modifică relațiile interne ale sistemului în mișcare, și deci nu poate fi pusă în evidență în cadrul sistemului.

Din punctul de vedere al *fundamentelor* imaginii științifice asupra lumii, lucrările lui Copernic fac trecerea spre concepția mișcării relative a Pămîntului și, astfel, sînt o premisă a ideii relativității mișcării în întregul Univers.

Copernic trebuia, în primul rînd, să relativizeze *imobilitatea Pămîntului*. A doua etapă consta în a demonstra caracterul real al mișcării Pămîntului. Aceasta din urmă trebuia subliniată, deoarece de la apariția noului sistem al lumii s-au făcut încercări de a-l înfățișa drept o schemă convențională.

Această interpretare a heliocentrismului era un rezultat al reacțiunii bisericești. Reacțiunea pornea direct nu numai de la clerul catolic, ci și de la teologii protestanți. În timpul răscoalelor țărănești, Luther, Melanchton și ceilalți conducători ai Reformei au dat dovadă de o intoleranță deosebit de rigidă față de abaterile de la litera Sfintei Scripturi. Cînd gîndirea critică a început să pună la îndoială nu numai operele părinților bisericii, canonizate de catolicism, ci și textele biblice, ea putea deveni o armă ideologică a răscoalelor țărănești. Pe vremea

aceea, Luther scria despre țăranii răsculați: „Să-i străpungă, să-i bată și să-i sugrume oricine, pe ascuns și pe față, cum ucizi un cîine turbat, să țină minte fiecare că nu există nimic mai veninos, mai dăunător și mai diabolic decît un răsculat".

Intoleranța față de abaterile de la textele biblice i-a ridicat pe ideologii oficiali ai Reformei împotriva cărții lui Copernic. După ce a citit cartea, Luther a găsit cu cale să releve că potrivit rugăciunii lui Iosua, nu Pămîntul a fost oprit, ci Soarele care se mișcă. Melanchton a cerut ca autoritatea de stat să urmărească noua concepție astronomică.

Totuși, cartea lui Copernic a fost publicată. Editarea ei a fost încredințată teologului protestant Andreas Osiander, care a hotărît să împace heliocentrismul cu dogma biblică, atribuindu-i [noii concepții] o semnificație convențională pur formală. Această interpretare era o continuare a tradiției medievale. Gîndirea scolastică medievală se caracterizează prin lipsa de univocitate a explicațiilor din domeniul studiului naturii. După cum scrie în *Izvorul cunoașterii* a lui Ioan Damaschin, în traducerea slavonă, „însă fie că e așa sau altfel, totul este și se statornicește prin porunca Domnului".

Știința este domeniul unor adevăruri convenționale, adevărul absolut fiind conținut în revelație. Acestei concepții medievale i se opune ideea epocii moderne, care, de altfel, continuă tendințe ce nu s-au stins nici în evul mediu: știința reflectă într-un mod univoc realitatea obiectivă. Copernic considera că schema sa cinematică este o descriere a realității. Pentru secolul al XVI-lea aceasta însemna să i se atribuie mișcării o semnificație absolută. Pe atunci nu exista încă o noțiune clară despre relativitatea obiectivă a mișcării. Mișcarea relativă era identificată cu cea aparentă, iar cea absolută cu mișcarea adevărată. Această identificare cuprindea implicit ideea unui centru real al Cosmosului, imobil în sens absolut. Mișcările raportate la acest centru sînt mișcări adevărate, iar mișcările raportate la alte centre, care se mișcă în raport cu centrul Universului, sînt mișcări aparente.

După cum vom vedea mai departe, la Newton mișcarea absolută își pierde legătura cu centrul imobil al lumii. La el, mișcarea absolută este mișcarea în spațiul

vid absolut și imobil, care nu se manifestă în efecte integrale (modificări ale configurației corpurilor din Univers), ci în efecte locale, în comportarea mobilului însuși.

Pentru a explica poziția lui Copernic în problema mișcării absolute, trebuie să ne oprim ceva mai amănunțit asupra noțiunii de criteriu local al mișcării absolute.

În sistemul lui Copernic, mecanica terestră devine un domeniu al mișcărilor absolute. Mișcarea raportată la Pămîntul mobil își pierde punctele de reper naturale, care erau dispuse la începutul și sfîrșitul ei, ea nu se mai produce din „ceva" în „ceva", ci devine relativă. Totodată, ea nu mai poate fi definită printr-o schemă integrală de condiții inițiale și de locuri naturale fixe. De-acum înainte, mișcarea se definește prin caracteristici diferențiale, prin starea „aici" și „acum", într-un punct dat și la un moment dat. Mișcarea poate fi recunoscută ca fiind absolută, dacă prin „aici" și „acum", care-i aparțin, ea diferă de repaus, dacă în mișcare anumite caracteristici locale ale corpului se deosebesc de caracteristicile sale locale în repaus. Dacă însă mișcarea nu duce la modificări ale caracteristicilor locale, ea este relativă și ne putem face o idee despre ea în cazul existenței unui corp de referință, comparînd distanțele dintre corpul respectiv și corpul de referință la momente diferite ale timpului.

Ce trebuie să înțelegem prin efect local al mișcării, prin modificarea caracteristicilor locale ale corpului în cadrul mișcării, spre deosebire de repaus? În prezent, prin acest efect înțelegem apariția forțelor de inerție. Dacă într-un anumit sistem corpurile capătă accelerații, nedeterminate de interacțiunile cu alte corpuri, această încălcare a principiilor mecanicii clasice este considerată de noi drept o dovadă pentru mișcarea accelerată a sistemului: în adevăr, într-un sistem în repaus sau care se mișcă uniform și rectiliniu, corpurile nu capătă „de la sine" accelerații, după cum ne arată principiile mecanicii. Cînd pe o navă oamenii și lucrurile sînt deplasate brusc înainte, presupunem că nava și-a încetinit mersul, iar cînd oamenii și lucrurile sînt aruncate înapoi, sîntem în drept să credem că mersul navei s-a accelerat. Dacă însă nava merge uniform, nu observăm efecte locale, nu înregistrăm modificări ale desfășurării proceselor care

au loc pe navă și ne putem face o idee despre mișcarea ei numai privind țărmul și constatînd o variație a distanței dintre navă și anumite corpuri fixe.

Pe baza unor considerente analoge, Newton a vorbit despre caracterul absolut al mișcărilor accelerate.

În timpul lui Copernic nu exista reprezentarea de inerție și nici de forțe de inerție. Și totuși, exista un *criteriu local al mișcării absolute și al celei relative.* Încă Ptolemeu găsise argumente fizice în apărarea geocentrismului: dacă Pămîntul se mișcă, înseamnă că mersul normal al evenimentelor de pe Pămînt trebuie să fie tulburat, că norii și păsările trebuie să zboare spre vest fără o cauză vizibilă, corpurile în mișcare trebuie și ele să se abată în sensul opus mișcării Pămîntului. Lipsa acestor efecte arată că Pămîntul este în repaus. Să traducem în limbaj contemporan argumentele lui Ptolemeu. Pămîntul, împreună cu norii și păsările care se află pe el și în atmosfera sa, precum și corpurile în cădere constituie un sistem în mișcare. Mișcarea sistemului determină accelerații nelegate de interacțiunea corpurilor. Aceste accelerații sînt efecte locale, ele caracterizează un sistem dat într-un loc dat și la un moment dat. Mișcarea care provoacă aceste efecte nu are nevoie de un corp de referință, ea are o semnificație absolută.

Pentru a respinge argumentele lui Ptolemeu, Copernic trebuia să arate că mișcarea Pămîntului nu modifică mersul proceselor care se produc pe el. Acest lucru a fost făcut abia în secolul următor de Galilei și Newton. Copernic este doar autorul celei dintîi formulări neclare a ideii independenței mersului proceselor dintr-un sistem, față de mișcarea acestuia; această idee putea să ia o formă clară abia cînd ar fi fost pusă în legătură cu noțiunea de inerție.

Fără această noțiune, fără o reprezentare limpede despre mișcare ca stare invariabilă a unui corp, care nu necesită un impuls dinafară pentru a o întreține, nu putea exista o concepție a unor accelerații dependente de mișcarea absolută a unui sistem. În mecanica clasică a lui Newton, obiectul explicației cauzale îl formează accelerațiile; într-un sistem cu mișcare rectilinie și uniformă, ele sînt proporționale cu forțele; dar în cazul apariției unor accelerații independente de interacțiunea corpurilor, ele atestă o mișcare accelerată a sistemului

și servesc drept criteriu local absolut al acestei mișcări. Copernic nu avea noțiunea de inerție. Ideea unei mișcări absolute, care să determine o perturbare a proporției dintre forță și accelerație, și ideea unei mișcări relative, care să nu determine o astfel de perturbare, care să nu aibă criteriu local, nu puteau căpăta în cartea lui Copernic forma clară pe care au dobîndit-o în secolul al XVII-lea. Copernic folosea noțiunea tradițională de mișcare naturală, pe care o atribuia Pămîntului. Mișcarea circulară a corpurilor eterice aparținea elementelor din concepția aristotelică asupra naturii, care, fiind generalizate, au devenit noțiunile inițiale pentru noul tablou al lumii. Această mișcare nu era o mișcare din „ceva" în „ceva", ea se caracteriza doar prin distanța corpului la un punct de referință ales arbitrar pe orbită și prin viteza cu care varia această distanță în fiecare „aici" și „acum". Copernic atribuie o astfel de mișcare Pămîntului și spune că ea nu poate modifica ordinea existentă pe Pămînt și desfășurarea proceselor care au loc pe el.

„Dacă cineva va socoti că Pămîntul este în mișcare, el va spune, firește, că mișcarea sa este naturală și nu forțată. Tot ce corespunde naturii provoacă un efect opus față de ceea ce se obține forțat. Obiectele cărora li se aplică o forță sau o acțiune forțată trebuie cu necesitate să fie distruse și nu pot exista timp îndelungat, pe cînd cele create de natură există în conformitate cu ea și se află în poziția cea mai bună. Ptolemeu nu avea motive să se teamă că Pămîntul și corpurile pămîntești vor fi distruse de rotație, produsă sub acțiunea naturii, cu totul diferită de acțiunile determinate de artă sau de meșteșug. De ce nu s-a temut el mai mult de mișcarea rapidă a lumii, căci cerurile sînt mult mai mari decît Pămîntul"[1].

Corpurile terestre nu pot fi distruse, deoarece participă la mișcarea de rotație naturală a Pămîntului. Izvoarele antice ale acestei idei sînt evidente. La Aristotel, mișcările circulare ale corpurilor eterice sînt mișcări neînsoțite de modificări calitative și substanțiale. Este singura mișcare care nu este mișcare din „ceva" în

[1] N. Copernic, *De revolutionibus orbium coelestium*, Paris, 1934, l. I, cap. VIII, p. 89.

„ceva", din care cauză ea este relativă. Copernic înlocuiește corpul care rămîne identic cu el însuși în cadrul mișcării, printr-un sistem care-și conservă ordinea naturală.

Care sînt echivalenții de mai tîrziu ai „mișcării sub acțiunea naturii" a lui Copernic, care nu provoacă modificări locale în sistemul de mișcare? La Galilei și la Newton acestei noțiuni îi corespunde mișcarea sistemului în virtutea inerției, în cadrul căreia se conservă în sistem dependența univocă a accelerațiilor de interacțiunile corpurilor. Totuși, teza lui Copernic — că „mișcarea naturală a Pămîntului nu determină la suprafața sa perturbări ale ordinii naturale" — a jucat un alt rol în cartea *Despre revoluțiile sferelor cerești* decît principiul clasic al relativității (mișcarea uniformă și rectilinie a unui sistem nu schimbă mersul proceselor mecanice care au loc în el) în *Principiile* lui Newton. La Newton, principiul relativității este legat de afirmația „dacă într-un sistem se schimbă mersul proceselor mecanice, înseamnă că sistemul suferă o accelerație absolută". Copernic nu cunoaște un astfel de efect dinamic local de schimbare a stării sistemului, care se manifestă în sistemul însuși: Copernic nu are nevoie de un criteriu local al mișcării absolute, deoarece pentru el caracterul absolut al mișcării Pămîntului este neîndoielnic, dat fiind că Soarele, în jurul căruia se învîrtește Pămîntul, este absolut imobil.

Imobilitatea absolută a Soarelui este deosebirea principală dintre sistemul lui Copernic și tabloul din secolul al XVII-lea al lumii. Dacă Soarele este fix în sens absolut, înseamnă că Universul are un centru, înseamnă că nu orice punct din spațiu poate fi ales cu tot atîta drept ca origine a unui sistem de referință, înseamnă că spațiul nu este omogen. Ideea unui spațiu omogen este pusă la baza imaginii științifice asupra lumii abia în secolul al XVIII-lea. Dar această idee a fost exprimată încă în secolul al XVI-lea, și încă într-o formă deosebit de limpede și categorică.

La cinci ani după ce Copernic „... a declarat război autorității bisericești în problemele naturii, — cu timiditate, ce-i drept, și, am putea spune, abia pe patul de

moarte"[1] s-a născut Giordano Bruno (1548—1600), care a rupt-o hotărît și făţiș cu dogma bisericească. El a plătit aceasta cu libertatea și apoi cu viaţa sa. După lungi peregrinări prin Franţa, Anglia și Germania, căzînd în mîinile inchiziţiei în Italia și condamnat la excomunicare și la „predare în mîinile autorităţilor lumești pentru o pedeapsă cît se poate de blîndă, fără vărsare de sînge", adică condamnat să fie ars pe rug, Bruno și-a terminat viaţa pe rugul din Piaţa florilor de la Roma, în zorii celei dintîi primăveri a noului secol, la 17 februarie 1600.

Concepţia fundamentală ce se desprinde din ideile de domeniul filozofiei naturii ale lui Bruno este infinitatea și omogenitatea Universului, precum și pluralitatea lumilor — stele, identice ca natură cu Soarele. La Bruno nu numai Pămîntul încetează să fie centrul Universului, ci și Soarele. Universul nu are de loc centru. Însă pentru ca ideea unui Univers omogen să se transforme dintr-o intuiţie filozofică asupra naturii într-o teorie pentru studiul naturii, adică să devină fundamentul nemijlocit al unor cunoștinţe pozitive care se dezvoltă într-o direcţie determinată, secolului al XVI-lea i-a lipsit o idee fizică cardinală. Această idee — principiul inerţiei — a fost prima contribuţie la știinţă a noului secol, al XVII-lea; ea este cea care a dat naștere tabloului mecanic al lumii.

Din acest punct de vedere, lucrările lui Kepler (1571—1630) fac parte și ele dintre *premisele* imaginii mecanice a lumii.

Legile mișcărilor planetelor, descoperite de Kepler, corespund unei trepte mai înalte a știinţei decît reprezentarea lui Galilei despre forma orbitelor cerești. Ele nu mai serveso drept fundament pentru geneza tabloului mecanic al lumii, ci pentru forma dezvoltată pe care acesta a căpătat-o mult după Galilei, în mecanica lui Newton. Kepler nu știe nimic despre identitatea naturii fizice a Soarelui și a stelelor; în ipotezele sale, el înlocuiește adeseori conexiunile cauzale prin apropieri verbale. Deoarece, în *Muzica stelelor*, Pămîntului îi corespund notele „fa" și „mi", primele silabe ale cuvintelor

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, p. 6.

fames (foame) și *miseria* (sărăcie), Pămîntul este o vale a foametei și a mizeriei. La Kepler se întîlnesc multe apropieri medievale de acest fel. Dar visările nebuloase despre armonia cosmică exprimă (și în parte camuflează) o problemă științifică rațională.

În imaginea aristotelică a lumii, mișcarea corpurilor este determinată prin condiții integrale: poziția centrului, a periferiei și a sferelor intermediare ale Universului. Dar de ce depinde stratificarea sferelor, distanța dintre ele? De ce este Universul astfel și nu altfel?

Pe vremea lui Kepler, această problemă putea fi pusă într-o formă perfect distinctă: „ce anume determină distanțele dintre orbitele planetare?"

Inițial, Kepler a căutat răspunsul în mistica pitagoreică a numerelor. În *Misterul cosmografic* (1596), el schițează următoarea schemă: dacă în jurul sferei Pămîntului descriem un dodecaedru regulat, atunci sfera circumscrisă acestui poliedru va cuprinde orbita lui Marte. Descriind în jurul sferei lui Marte un tetraedru și circumscriindu-i apoi iarăși o suprafață sferică, vom căpăta sfera lui Jupiter. În același fel sînt legate între ele și orbitele celorlalte planete. Dat fiind că nu sînt posibile decît cinci poliedre regulate, nu există decît șase planete, iar între sferele lor își găsesc loc poliedrele regulate.

Ulterior, Kepler a renunțat la schema tradițională a mișcărilor circulare uniforme, împreună cu întreaga construcție complicată a excentricităților și a epiciclurilor. Planetele se mișcă accelerat în jurul Soarelui, pe orbite eliptice. Viteza variabilă este legată într-un mod determinat de poziția planetei pe orbită. Kepler ajunge la legile care leagă distanța planetei la Soare de viteza ei în fiecare punct. Aceste legi sînt enunțate în cărțile: *Astronomia nouă*, apărută în 1609, și *Armonia lumii* (1619).

Legile care leagă forma orbitei, adică distanța planetei la Soare în fiecare punct al drumului ei, de *variația* vitezei planetei constituie o premisă a imaginii mecanice a lumii. În cazul în care caracteristica integrală a mișcării — orbita corpului — este definită prin infinitatea diverselor distanțe ale corpului la centrul revoluției sale,

și dacă fiecăreia dintre aceste distanțe îi corespunde o viteză instantanee „aici" și „acum", atunci avem de-a face, evident, cu o reprezentare diferențială a mișcării.

Această reprezentare nu a devenit încă o teorie fizică, deoarece lui Kepler îi lipsesc noțiunile de inerție și de forță. Însă chiar apariția acestor noțiuni nu a permis încă rezolvarea problemei puse de Kepler: „De ce este Universul așa, și nu altfel?" Vom vedea în cele ce urmează că această problemă este rezolvată de concepțiile cosmogonice.

CAPITOLUL VI

HELIOCENTRISMUL, PRINCIPIUL INERȚIEI ȘI TEORIA OMOGENITĂȚII SPAȚIULUI

Cotitura radicală din știință, care a transformat premisele și elementele izolate ale explicației mecanice a naturii într-un tablou mecanic universal al lumii, se datorește unor tendințe istorice noi, care nu existaseră pînă în secolul al XVII-lea. În epoca Renașterii existaseră deja construcțiile navale, iar pe scară largă construcția de porturi, canaluri și orașe, se dezvoltau artileria, în care se folosea praful de pușcă, și fortificațiile, alături de alte izvoare reale ale noilor cunoștințe de mecanică. Însă alături de izvoarele enumerate ale acestor cunoștințe apare în secolul al XVII-lea producția manufacturieră. Energetica manufacturii — roata hidraulică — era o școală vastă a experienței mecanice, incomparabilă ca importanță cu trecutul. Amintim, de exemplu, despre utilizarea marilor roți hidraulice la care apa era debitată la pale sau la cupe de sus ori de la partea mediană a roții. Pentru a construi o astfel de roată, cu un dispozitiv hidrotehnic complicat pentru aducția apei, trebuiau determinate în prealabil relațiile cantitative dintre masa apei, dimensiunile roții, viteza ei de rotație și puterea mecanismelor puse în funcțiune. Totodată trebuia luată în considerare frecarea, într-un cuvînt era nevoie de rezolvarea unor probleme de dinamică, uneori destul de complexe. Aici, în energetică, totul — începînd cu presiunea apei asupra palei și terminînd cu mișcarea pompelor, a foalelor, a ciocanului

mecanic, a sfredelului, a presei etc. — era clar și rațional, totul se încadra într-un lanț continuu de cauze și efecte. Cauzele erau impulsurile, presiunea apei, acțiunea pîrghiilor, rotația arborilor [axelor], iar efectele acestora erau accelerațiile elementelor mecanismelor care compensau frecarea în mecanisme și rezistența materialelor prelucrate sau transportate. Se constituia aici o nouă matrice cauzală: reprezentarea de accelerație a corpurilor ca rezultat al interacțiunii lor mecanice. Spre deosebire de energetica atelierelor manufacturiere, a șantierelor navale, a arsenalelor, a minelor și uzinelor metalurgice, tehnologia meșteșugărească nu oferea astfel de scheme cauzale raționale. „Misterele" meșteșugului erau efectiv tainice: cînd se arunca în creuzetul cu minereu de argint sare, pirită și mercur, nimeni nu încerca să afle lanțul perechilor de cauze și efecte identice prin natura lor, ce se succedau una după alta; nimeni nu putea indica șirul continuu de procese elementare din fiecare punct și din fiecare moment care, în ansamblul lor, transformau aceste ingrediente în amalgam de argint. Despre deplasările și combinările elementare ale atomilor se putea afla mai curînd din cărțile antice, decît din experiența atelierelor meșteșugărești.

Totuși, în tehnica secolului al XVII-lea se aplicau procese care puteau sugera ideea reductibilității transformărilor calitative ale substanței la o deplasare mecanică a părților ei. Procese de acest fel puteau fi întîlnite, bunăoară, în manufacturile textile. Aici, meșterii se orientau bine în natura mecanică a moliciunii, a luciului, a conductibilității termice, a impermeabilității, precum și a altor proprietăți calitative ale țesăturilor.

Procesele mecanice din energetică și, într-o măsură considerabil mai mică, cele din tehnologia manufacturieră făceau posibilă deosebirea cunoștințelor industriale de experiența pur empirică. În secolul al XVII-lea se dezvoltă o literatură tehnico-științifică în care rețetele empirice își cedează locul explicării mecanice a operațiilor tehnologice și constatării cauzelor mecanice ale relațiilor. Arhitecții, constructorii de fortificații, artileriștii primesc în mediul lor mecanici care construiesc mașinile utilizate sporadic în producție.

Compoziția acestui mediu se schimbă față de cea din secolul al XVI-lea, se modifică și ponderea ei socială. În monarhiile absolute ale secolului al XVII-lea problemele mecanicii aplicate au căpătat considerabil mai multă importanță decît înainte. Vechile conflicte dintre cercurile tehnico-inginerești și reprezentanții erudiției literare umanistice au trecut pe al doilea plan. Pe primul plan au apărut noi conflicte, care au pus în evidență într-o formă sensibil mai netă și mai pregnantă contradicțiile sociale de clasă ale epocii.

În secolul al XVII-lea, burghezia mai era departe de cucerirea dominației politice. Revoluțiile din Țările de Jos și din Anglia nu determinaseră o trecere a puterii în mîinile noii clase. Această trecere a fost realizată de Revoluția Franceză, la sfîrșitul secolului următor. Dar pregătirea ideologică și materială a revoluției începuse. După Reformă și după războaiele țărănești, izvoarele sociale și semnificația socială a conflictelor de idei au devenit cu totul vădite.

La Roma — centrul contrareformei — și în orașele Italiei de nord, lupta ideologică era deosebit de strîns legată de problemele studiului naturii. Interesele lumești — militare și economice — ale prelaților și ale principilor, dezvoltarea marilor manufacturi, crearea unor complicate construcții hidrotehnice, construcțiile navale, lucrările intense de arhitectură și construcții, combinate cu marile tradiții culturale, au făcut din orașele Italiei centrele științei noi. Vaticanul își dădea seama însă că, paralel cu interesele aplicative, știința reflectă în dezvoltarea ei tendința noii clase de a se smulge de sub tutela autorității bisericești. Contrareforma nu-și îndrepta loviturile numai împotriva adversarilor direcți ai catolicismului. Aici, în Italia, iezuiții, congregația cardinalilor și inchiziția simțeau deosebit de acut legătura directă dintre generalizările științei și concluziile antiteologice.

În această situație istorică, Galileo Galilei (1564—1642) a utilizat noțiuni împrumutate din mecanica aplicată (în special din fortificații, din artilerie și din hidrotehnică) la explicarea problemelor Cosmosului, în particular la întemeierea și la generalizarea sistemului copernician. El preluase de la gînditorii Renașterii ideea

omogenității și infinității spațiului, care a căpătat la Galilei forma precisă și clară a teoriei mișcării uniforme infinite a corpurilor, ce durează fără un *impetus* menit să întrețină mișcarea.

Ideea Universului infinit se baza la Galilei nu numai pe argumente din domeniul filozofiei naturii și pe aplicarea unor noțiuni mecanice, rezultate din dezvoltarea unor probleme aplicative. Descoperirile astronomice ale lui Galilei au lărgit proporțiile Universului cunoscut omenirii și au demonstrat identitatea legilor fizice care guvernează procesele sale în toate părțile acestuia.

În noaptea de 7 ianuarie 1610, Galilei a îndreptat pentru prima dată spre cerul înstelat luneta pe care o construise recent. El a văzut craterele și lanțurile muntoase ale Lunii, a descoperit sateliții lui Jupiter și fazele lui Venus, iar apoi a stabilit că și Calea lactee este constituită dintr-o mulțime de stele. Toate aceste descoperiri au spulberat opoziția aristotelică dintre cer și Pământ. În particular, suprafața Lunii, care semăna cu cea a Pământului, era pentru Galilei o dovadă incontestabilă a unității naturii fizice a corpurilor cerești și a Pământului, și anume nu o dovadă matematică abstractă, ci una intuitivă și convingătoare nu numai pentru tagma învățaților, ci și pentru cercurile largi ale opiniei publice. S-a constatat, mai departe, că Venus seamănă cu Luna: această planetă luminează cu lumina reflectată a Soarelui și prezintă faze. Galilei credea că fazele lui Venus sînt o dovadă în favoarea sistemului copernician al lumii. De aceeași părere erau și numeroși studenți, interlocutori și corespondenți ai lui Galilei. Indiferent de rigurozitatea unor astfel de dovezi în favoarea heliocentrismului, ele subminau interpretarea lui convențională, dată de Osiander. Aceasta a provocat alarmă la Vatican. Cardinalul Bellarmin, șeful inchiziției, îi scria unuia dintre adepții lui Copernic:

„Am impresia că dumneavoastră și seniorul Galileo ați proceda mai precaut dacă v-ați mulțumi cu exprimări ipotetice și ați renunța la cele absolute; așa a procedat, cum am fost întotdeauna de părere, și Copernic... În adevăr, dacă se spune că ipoteza mișcării Pământului și a imobilității Soarelui explică mai bine fenomenele

observate decît ipoteza epiciclurilor și a excentricităților, atunci această afirmație este foarte bună și nu cuprinde nici un fel de pericol. Ea este pe deplin suficientă pentru matematică. Dacă se începe cu afirmația că Soarele ar fi efectiv în repaus în centrul lumii și se învîrtește numai în jurul său fără a se mișca de la est spre vest, iar Pămîntul se află în al treilea cer și se mișcă cu o viteză mare în jurul Soarelui, acesta este un lucru foarte primejdios și nu numai pentru că îi irită pe toți filozofii și învățații teologi, dar și pentru că este dăunător sfintei credințe, deoarece de aici se trage concluzia falsității Sfintei Scripturi"[1].

Însă argumentele fizice în favoarea heliocentrismului nu-și găseau loc în cadrul unei scheme cinematice convenționale.

Concluziile trase din descoperirea naturii Căii lactee mergeau și mai departe. O dată ce Calea lactee este o îngrămădire de stele, înseamnă că în Univers nu există nimic în afară de corpuri discrete și de deplasările lor relative. Acesta este un argument fizic în favoarea omogenității Universului, și aici nu mai este vorba despre sistemul solar, ci despre ansamblul Cosmosului, deci concepția astronomică devine concepție despre lume. La Vatican, transformarea în concepție despre lume a diverselor cunoștințe astronomice, mecanice, fizice etc., care aveau valoare utilitară, era considerată drept una dintre cele mai periculoase tendințe ale gîndirii. Galilei însă nu se putea abate în direcția spre care îl îndemnau sfaturile lui Bellarmin: interpretarea fizică a heliocentrismului, care se transforma inevitabil într-o concepție asupra Universului și nu admitea o interpretare convențională, era conținutul fundamental al creației lui Galilei.

Lărgirea Universului, transformarea heliocentrismului în concepție mecanică asupra lumii infinite, a fost realizarea științifică a lui Galilei și el își dădea bine seama de aceasta. La sfîrșitul vieții, în anul 1638, comunicînd unui corespondent că-și pierduse vederea, Galilei scria următoarele rînduri tragice:

„Vă puteți închipui cît sînt de amărît cînd îmi dau seama că acest cer, această lume și Universul, care,

[1] Vezi G. Galilei, *Le Opere* ed. Naz., vol. XII, p. 171.

prin observaţiile şi prin demonstraţiile mele limpezi, au fost lărgite de o sută şi de o mie de ori în comparaţie cu ceea ce credeau despre ele oamenii ştiinţei în toate veacurile trecute, s-au micşorat şi s-au restrîns acum atîta pentru mine"[1].

Interpretarea fizică a heliocentrismului era legată la Galilei de principiile generale ale cunoaşterii ştiinţifice. Urmîndu-l pe Leonardo da Vinci şi pe ceilalţi gînditori ai Renaşterii, Galilei era de părere că „adevărul este un fiu al timpului", adică el este mărginit de nivelul finit la fiecare moment al ştiinţei şi nu dă o imagine completă a naturii infinite. Însă din punctul de vedere al nivelului adevărului obiectiv, raţiunea înţelege în mod absolut natura.

„Extensiv, adică în raport cu mulţimea de obiecte cunoscute (şi această mulţime este infinită), cunoaşterea omului este parcă nimic, deşi el cunoaşte mii de adevăruri, deoarece, comparată cu infinitul, mia este ca un zero; dar dacă luăm cunoaşterea intensiv, avînd în vedere că termenul «intensiv» înseamnă cunoaşterea desăvîrşită a unui adevăr, afirm că raţiunea umană cunoaşte unele adevăruri atît de desăvîrşit şi cu atîta certitudine absolută, cum ele există şi în natura însăşi"[2].

Prin cunoaştere desăvîrşită, absolut certă, Galilei înţelege determinarea cantitativă, matematică a necesităţii unui fenomen. Matematica „atinge înţelegerea necesităţii lor, iar o treaptă supremă a certitudinii nu există". Galilei vede „certitudinea absolută a naturii" în determinarea riguros univocă a fiecărei stări a unui corp. Aceste stări sînt stări de mişcare ale corpurilor şi pot fi considerate pur cantitativ, ca mărimi geometrice. Galilei opune concepţiei aristotelice ideea sa asupra cunoaşterii.

O tendinţă analogă există şi la Kepler, care scrie: „Acolo unde Aristotel vede între două lucruri o opoziţie directă, lipsită de verigi intermediare, acolo eu, considerînd filozofic geometria, găsesc o opoziţie mediată, astfel că, acolo unde Aristotel are un singur termen:

---

[1] G. Galilei, *op. cit.*, vol. XVII, p. 247.

[2] Idem, *Dialog despre cele două sisteme ale lumii*, trad. în limba rusă, M.—L., 1948, p. 89.

«altceva», noi avem doi termeni: «mai mult» sau «mai puțin»"[1].

Aceste rînduri au nevoie de o explicație. „Opoziția directă, lipsită de verigi intermediare", este reprezentarea integrală, care indică poli diferiți calitativ: începutul absolut al mișcării din ceva în ceva și sfîrșitul ei absolut. Această reprezentare integrală atribuie începutului și sfîrșitului procesului o anumită deosebire substanțială (corpul apare și dispare) sau calitativă. Polii mișcării sau ai confruntării logice se definesc unul în raport cu celălalt prin cuvîntul „altceva". Ce sînt atunci „verigile mediatoare"? Este șirul continuu de poziții spațiale, viteze, accelerații și infinitatea de puncte și clipe cărora le corespund stări determinate ale corpurilor în mișcare. Lucrurile, proprietățile și stările confruntate, dacă sînt definite prin astfel de „verigi mediatoare", se caracterizează prin *măsură*. Ele pot ocupa un loc sau altul în șirul de „verigi mediatoare", pot fi mai mari sau mai mici, iar prin aceasta se definește deosebirea dintre ele.

Kepler se referă la „considerarea filozofică a geometriei". În cazul de față, această interpretare a geometriei înseamnă stabilirea prototipului fizic al noțiunii geometrice. Prototipul fizic al noțiunilor geometrice — ne-am mai ocupat de aceasta în legătură cu postulatele lui Euclid — îl reprezintă mișcările unor corpuri identice cu ele însele, care nu suferă în decursul timpului alte schimbări decît cele ale poziției lor în spațiu. Din această idee, care capătă la Galilei o formă considerabil mai consecventă, rezultă caracterul cantitativ al noii imagini a lumii. În această imagine, fenomenele se reduc la o anumită deplasare a corpurilor materiale, fiind caracterizate deci numai sub aspect cantitativ.

În conformitate cu aceasta, materia posedă numai formă, dimensiuni și poziție în spațiu. Transformările ei se reduc — cum scrie Galilei — „doar la o modificare a poziției părților, fără ca să se distrugă ceva și fără ca să se nască ceva nou". Așadar, dintre toate formele de mișcare cunoscute antichității, obiectiv există numai mișcarea dintr-un loc în altul.

Geneza noii imagini mecanice a lumii a fost strîns legată de geneza noii culturi, arte, literaturi. Sub acest

[1] Kepler, *Opera omnia*, vol. I, Frankfurt, 1858, p. 423.

aspect prezintă interes forma literară a scrierilor lui Galilei și programul său estetic.

Vechea imagine aristotelică a lumii era rațională, ea era expusă cu ajutorul unor silogisme și generalizări bine elaborate și turnate în forme determinate, iar dezvoltarea concepției aristotelice se reducea la regruparea, la compararea și la combinarea unor fragmente canonizate cunoscute. Pentru aceasta era nevoie de o mare erudiție cărturărească, de o cunoaștere amănunțită a literaturii antice, a scrierilor părinților bisericii și a operelor comentatorilor medievali ai lui Aristotel. În literatura științifică apăreau lucrări în care erudiția devenea un scop în sine, unde alegerea de reminiscențe din istoria științei nu era impusă de un punct de vedere original. În aceste condiții, epitetele, formulele și construcțiile sintactice canonizate se transformau în clișee.

Vechea literatură beletristică, ca și literatura barocului de altfel, descria într-o măsură importantă situații tradiționale, recurgînd la mijloace tradiționale. Această literatură pierdea adeseori legătura cu izvorul viu al reprezentărilor nemijlocite; la mulți scriitori din secolul al XVI-lea izvoarele creației erau pur literare, iar înfloriturile canonice ale stilului în maniera clasică se transformau în perioade retorice lipsite de conținut. Aceste particularități ale literaturii barocului și ale celei din perioada precedentă au stîrnit un protest categoric al lui Galilei. El considera forma rafinată drept o crimă împotriva bunului-gust, dacă această formă nu exprima un conținut original și complicat. Aceste gusturi literare erau legate de ideile științifice ale lui Galilei. Renunțînd la expunerea și comentarea textelor clasice, ca metodă principală a creației științifice, el a fost, în fond, mult mai aproape de gîndirea antică și de literatura antică decît epigonii ei. La el renaște vorbirea vie și plastică a unui om care privește lumea întrucîtva pentru prima dată, fără povara reprezentărilor tradiționale. Galilei a văzut în particularitățile stilului literar dominant nu numai o crimă împotriva bunului-gust, ci a simțit totodată legătura dintre aceste particularități și știința tradițională, concepția tradițională asupra lumii. De aceea luptă el cu atîta hotărîre împotriva alambicării intenționate în literatură. După Galilei, stilul trebuie să fie determinat de conținut. Un

conținut corespunzător noii concepții asupra lumii cere nu alegorii nebuloase, nu observații și apropieri întîmplătoare, nu exclamații retorice și citări din textele vechi, ci imagini clare, extrase din impresiile directe și din experiența tehnică.

Forma literară a scrierilor lui Galilei și faptul că operele sale principale nu sînt scrise în latină, ci în italiană, se explică prin alegerea publicului. Creația lui Galilei, în ansamblul ei este adresată nu atît și nu numai cercurilor breslei învățaților. Alegerea publicului se explică, la rîndul ei, prin ideile științifice pe care le propaga Galilei. Ideile lui Galilei formează o concepție despre lume, un nou tablou al Universului, și anume un tablou fizic.

Aceasta este valabil, în primul rînd, pentru *Dialogul despre cele două sisteme ale lumii*. Preistoria acestei cărți este următoarea. În 1615 Galilei vine de la Florența la Roma pentru a împiedica interzicerea copernicianismului. Încercarea sa a eșuat. La Roma stăpîneau iezuiții, iar contrareforma își subordona ideile principilor bisericii catolice; libera cugetare — plină de bucuria vieții — precum și toleranța prelaților din secolul al XVI-lea fuseseră date uitării. În 1616, congregația cardinalilor a proclamat cartea lui Copernic drept falsă. Interzicerea heliocentrismului l-a condamnat pe Galilei la o îndelungată singurătate ideologică. În 1632 el a avut impresia că ar fi sosit momentul să ia poziție în apărarea sistemului lui Copernic. Noul papă, Urban al VIII-lea, pe cînd el mai era cardinalul Matteo Barberini, acordase o înaltă apreciere lucrărilor de mecanică aplicată ale lui Galilei, iar Galilei își închipuia că Urban nu numai că va păstra simpatiile de altădată, dar le va extinde chiar și asupra ideilor astronomice ale învățatului.

În 1632, apare la Florența *Dialogul despre cele două sisteme principale ale lumii — ptolemeic și copernician.*

Conținutul *Dialogului* este disputa dintre trei interlocutori cu privire la sistemul lumii. Doi dintre ei, Sagredo (în al cărui palat de pe Canalul mare din Veneția are loc disputa) și Salviati, apără ideile lui Galilei. Oponentul lor este peripateticianul Simplicio. În discuție se contestă întîi imobilitatea Pămîntului și se

demonstrează — pentru a ne exprima în limbaj modern — că mişcarea nu determină efecte interioare în sistemele inerţiale. Mai departe, se expune amănunţit sistemul heliocentric al lumii. La sfîrşitul convorbirii este dată teoria galileeană a mareelor. Ea este menită să arate că mişcarea Pămîntului urmează să fie considerată drept o mişcare adevărată.

Ne vom ocupa aici numai de un singur aspect al dialogului. Pe Galilei îl interesează argumentele fizice ale lui Ptolemeu; pentru a le respinge, el introduce noţiunea de inerţie. Salviati enumeră argumentele împotriva mişcării Pămîntului: o piatră lăsată de pe vîrful unui turn ar cădea cu o oarecare distanţă mai la vest de piciorul lui pe suprafaţa Pămîntului în mişcare, după cum o greutate lăsată de pe catarg pe puntea unei corăbii în mişcare cade în spatele catargului, mai aproape de cîrmă. Mai departe se enumeră şi alte argumente cunoscute din antichitate: păsările care nu pot ţine pasul cu mişcarea Pămîntului şi sînt abătute spre vest, vîntul (rezistenţa aerului) care s-ar naşte la mişcarea corpurilor ce participă la mişcarea Pămîntului etc.

Pe neaşteptate, Salviati îi pune lui Simplicio o întrebare: a încercat oare cineva să arunce o greutate de pe vîrful catargului unei corăbii în mişcare, şi care au fost rezultatele acestui experiment? Simplicio nu cunoaşte astfel de experimente. Atunci Salviati îi descrie următorul experiment mintal: o bilă perfect rotundă se rostogoleşte în jos pe o scîndură înclinată, netedă. Ea se rostogoleşte accelerat. Dacă bila se rostogoleşte în sus pe planul înclinat, ea îşi încetineşte mişcarea. Dar dacă bila se rostogoleşte pe o scîndură perfect netedă, fără să urce şi fără să coboare? Un corp în repaus pe o astfel de scîndură îşi păstrează repausul, iar un corp care se mişcă îşi păstrează mişcarea — răspunde Simplicio.

De aici rezultă că greutatea aruncată de pe vîrful catargului unei corăbii în mişcare îşi va continua mişcarea după o linie paralelă cu suprafaţa terestră, cu aceeaşi viteză ca şi corabia şi va cădea la piciorul catargului, iar o piatră aruncată de pe vîrful unui turn nu se va abate nici ea de la drumul ei vertical din cauza mişcării Pămîntului. Mişcarea în virtutea inerţiei nu poate determina nici alte efecte pe Pămînt: păsările

şi norii nu vor fi antrenaţi spre vest, iar lipsa acestor fenomene nu demonstrează imobilitatea absolută a Pămîntului. Salviati zugrăveşte tabloul diverselor procese din cabina de comandă a unei corăbii; în acvariu înoată peştişori, în aer zboară insecte etc. Mişcarea uniformă a corăbiei nu tulbură mersul acestor procese.

Este vorba apoi despre un vas care navighează din Veneţia în Siria. Pentru obiectele aflate în cală, mişcarea corăbiei „... e ca şi cum nu ar exista, ea nu modifică relaţiile dintre acestea..."[1].

Într-o exprimare actuală, şi puţin lărgită, această frază ar suna astfel: criteriul absolut al mişcării unui sistem de corpuri îl constituie acceleraţiile neprovocate de interacţiunea lor. Astfel de acceleraţii pot fi considerate ca rezultat al forţelor de inerţie. Apariţia acestor forţe este criteriul dinamic local al unei mişcări absolute. Mişcarea în virtutea inerţiei nu determină efecte dinamice, nu are criteriu local absolut, ea este o mişcare relativă. Vedem că mişcarea în virtutea inerţiei intervine în imaginea lumii împreună cu mişcarea accelerată, care posedă un criteriu local. Mişcarea în virtutea inerţiei nu are un asemenea criteriu. Aşadar, ea este definită de la început ca fiind cazul de acceleraţie nulă.

În ansamblu, este vorba despre trecerea de la concepţia integrală a mişcării la cea diferenţială.

În tabloul aristotelic al mişcării din „ceva" în „ceva", criteriul absolut al mişcării este pur cinematic: mişcarea absolută este schimbarea poziţiei în raport cu centrul absolut fix al lumii şi cu periferia ei. În tabloul diferenţial al lumii, unde mişcarea este definită prin starea corpului în fiecare „aici" şi „acum", criteriul absolut al mişcării este schimbarea în stările „aici" şi „acum", variaţia instantanee a vitezei, adică acceleraţia. Acesta este criteriul absolut dinamic diferenţial local al mişcării. Mişcarea absolută poate fi acum definită local: este mişcarea care determină efecte dinamice într-un punct dat. Potrivit cu aceasta, mişcarea relativă se defineşte şi ea ca mişcare neînsoţită de efecte dinamice.

---

[1] G. Galilei, *op. cit.*, p. 97.

Se înțelege, Galilei nu dispunea de astfel de noțiuni precise, dar important este că apariția acestor noțiuni nu a înlocuit ideile lui Galilei, ci a dezvăluit doar semnificația lor autentică. Dezvoltarea științei după Galilei nu se mai caracterizează pur și simplu prin înlocuirea principiilor fundamentale, ci prin generalizarea, concretizarea și precizarea lor. Vom analiza aceasta, luînd ca exemplu omogenitatea spațiului.

Dacă un corp nu suferă în mișcarea sa nici un fel de accelerații dependente de poziția lui în spațiu, înseamnă că toate lucrurile prin care trece corpul nu se deosebesc în mod absolut unul de altul, și că în spațiu nu există locuri privilegiate. În acest caz, spațiul este omogen. La Galilei însă, corpul nu suferă nici un fel de accelerații, iar criteriul dinamic al mișcării lipsește, cînd corpul se mișcă pe o orbită circulară. Corpurile aflate pe suprafața Pămîntului și care participă la mișcarea sa diurnă descriu căi circulare. Planetele se mișcă în virtutea inerției în jurul Soarelui, descriind cercuri închise. Mișcările circulare ale Pămîntului și ale celorlalte planete sînt tocmai mișcările perfecte ale cosmologiei aristotelice, care nu mai sînt atribuite acum corpurilor cerești, ci Pămîntului. Galilei nu admite pentru Pămînt și pentru celelalte planete abateri de la mișcările circulare uniforme. El ignorează legile lui Kepler și forma eliptică a orbitelor planetare, descoperită de Kepler. Planetele se mișcă (potrivit concepției lui Galilei) uniform pe cercuri în al căror centru se află Soarele.

Dacă toate punctele echivalente prin care trece corpul formează un cerc, înseamnă că un spațiu curbat este omogen. În cazul mișcării uniforme în acest spațiu, sistemul nu-și schimbă structura, în el nu apar forțe de inerție, iar mișcarea are un sens pur relativ: variază distanța corpului la punctul de reper, iar rolul acestui punct poate să-l joace orice punct prin care trece corpul, cu alte cuvinte orice punct de pe traiectoria curbilinie, fără să capete o accelerație.

Galilei nu cunoștea noțiunea de spațiu curb omogen, cum nu cunoștea nici noțiunea de spațiu omogen în genere. Abia secolele următoare au reușit să dezvăluie această semnificație interioară a inerției cosmice curbilinii galileene. Vom vedea mai tîrziu cum a intro-

dus Descartes noţiunea de mişcare rectilinie a unui corp asupra căruia nu acţionează forţe şi cum a formulat Newton principiul inerţiei, care înseamnă, în esenţă, omogenitatea spaţiului „plan". Ne vom familiariza mai departe cu legea conservării impulsului, care exprimă omogenitatea spaţiului, şi cu legea conservării energiei, care exprimă omogenitatea timpului. La începutul secolului al XX-lea, aceste legi, înainte separate, independente una de cealaltă, au devenit aspectul spaţial şi cel temporal ale unei legi unice de conservare. În conformitate cu aceasta, ştiinţa a trecut la noţiunea omogenităţii unui continuum cvadridimensional unic: spaţiul-timp.

Aşadar, dezvoltarea principiilor fundamentale ale fizicii a generalizat şi a precizat succesiv ideea omogenităţii spaţiului.

Principiul relativităţii mişcării a fost prima etapă în explicarea fizică a sistemului copernician. A doua etapă a fost demonstraţia caracterului absolut al mişcării Pămîntului. În imaginea mecanică a lumii, efectele mecanice devin criteriul mişcării absolute. În ce constau aceste efecte, ce fenomene dovedesc caracterul absolut al mişcării ? Galilei a pus această problemă cu aplicare la mişcarea Pămîntului, la cea diurnă şi la cea anuală. El a vrut să răspundă la această problemă prin teoria sa incorectă, dar extrem de importantă din punct de vedere istoric, asupra mareelor. Teoriei mareelor îi este consacrată partea finală a *Dialogului*[1].

Din punctul de vedere al lui Galilei, mişcarea uniformă a planetelor pe orbite circulare şi mişcarea de la vest spre est a suprafeţei terestre în virtutea rotaţiei Pămîntului sînt mişcări fără acceleraţie. Galilei nu face legătura între curbura traiectoriei şi acceleraţie. O acceleraţie se poate obţine numai din însumarea a două mişcări ale unei planete. Cînd rotaţia Pămîntului antrenează un punct dat de pe suprafaţa sa în acelaşi sens în care se mişcă Pămîntul pe orbită, cu alte cuvinte cînd mişcarea orbitală şi rotaţia au acelaşi sens, viteza este mai mare decît în cealaltă jumătate a zilei, cînd acelaşi punct de pe suprafaţa terestră este antre-

[1] Este vorba de *Dialogul* lui Galilei privitor la cele două sisteme principale ale lumii, amintit mai înainte.

nat de rotația diurnă a Pămîntului în sensul opus mișcării orbitale. Așadar, de două ori pe zi fiecare punct al suprafeței terestre își modifică viteza. În momentul micșorării vitezei, apa oceanelor și a mărilor este aruncată spre țărmul aflat în față și-l inundă. Cînd viteza crește, apa se retrage. Aceasta este cauza fluxului și a refluxului. Galilei compară marea cu apa din cala unei corăbii. Cînd corabia își accelerează mersul, nivelul apei se ridică în partea dinspre cîrmă. Cînd corabia își încetinește mersul, apa se scurge spre partea dinspre proră a calei.

Mareele corespund unor exemple de mai tîrziu pentru efectele dinamice ale accelerației absolute. Scurgîndu-se spre țărm și retrăgîndu-se de la acesta, apa se mișcă, cum am spune astăzi, sub acțiunea forțelor de inerție. Mișcarea diurnă și cea anuală ale Pămîntului au deci un caracter absolut. Suma acestor mișcări determină, spre deosebire de fiecare dintre ele, o modificare internă în sistemul Pămîntului.

Galilei a acordat teoriei mareelor o importanță hotărîtoare pentru demonstrarea sistemului lui Copernic. El intenționa să-și intituleze cartea *Tratat despre maree*. Însă cenzura bisericească a interzis să se sublinieze prin această denumire sensul fiziceşte generalizat neformal al copernicianismului, astfel că lucrarea a apărut sub titlul neutru de *Dialog despre cele două sisteme principale ale lumii*.

După proces și după retractare Galilei a revenit tot timpul la ideea mareelor, iar această continuă revenire efectivă a avut, cum spune V. P. Zubov, același sens ca legendarul „Și totuși se mișcă!".

Orb și condamnat la tăcere, Galilei își reamintește mereu tabloul mareelor de la Veneția, iar aceste amintiri le întîlnim în ultimele sale scrisori.

Tratarea fizică a heliocentrismului și transformarea sa în imagine a unui Univers omogen au fost apreciate ca un atac direct împotriva temeiurilor catolicismului. Speranțele lui Galilei că *Dialogul* va fi primit cu simpatie la Vatican nu s-au adeverit. Papa Urban al VIII-lea, strîns cu ușa nu numai de protestanți, ci și de vasalii săi spirituali necredincioși, a hotărît să arate puterea autorității ecleziastice, supunîndu-l pe fostul său prieten la întreaga greutate a unui proces inchizito-

rial. Represiunile au lovit şi în inchizitorul Florenţei şi în mulţi auxiliari apropiaţi ai papii. Galilei a fost chemat în faţa tribunalului, închis, poate chiar supus torturii sau ameninţat cu tortura şi condamnat la tăcere pe toată viaţa.

Procesul din 1633 a fost un moment de cotitură pentru dezvoltarea ştiinţei în Italia; germenii ei nu au mai putut să se opună terorii inchiziţiei. Iezuiţii aveau grijă ca acumularea de date faptice, generalizările parţiale şi concluziile aplicative să nu se transforme într-o nouă concepţie despre lume. Observaţiile astronomice şi cercetările de fizică se puteau face cu multă intensitate, înşişi iezuiţii participau cu multă energie la ele — dar nimeni nu mai trebuia să transforme noile cunoştinţe într-o nouă concepţie asupra lumii. Aceasta este cauza pentru care a trebuit să fie supus represiunilor Galilei. Procesul din 1633 nu era îndreptat împotriva noii scheme cinematice a sistemului solar şi nici măcar împotriva noii astronomii în ansamblul ei. El era îndreptat împotriva noii imagini fizice a lumii.

După proces, Galilei, care a rămas sub permanenta supraveghere a agenţilor inchiziţiei, s-a stabilit la vila sa din apropierea Florenţei. El a trecut la a doua lucrare principală a vieţii sale, cartea de dinamică şi rezistenţă a materialelor. Dacă în *Dialog* găsim una dintre noţiunile fundamentale ale imaginii mecanice asupra lumii — noţiunea de inerţie, în schimb, în noua sa operă Galilei trece la alte generalizări fundamentale: la teoria acceleraţiei şi la analiza structurii substanţei. Cartea a fost intitulată *Convorbiri şi demonstraţii matematice despre două ştiinţe noi*[1]. Galilei a terminat-o în 1635, iar după patru ani, în 1638, ea a putut vedea lumina tiparului în Leyda protestantă.

Trecerea de la *Dialog* la *Convorbiri* este, între altele, o trecere din lumea mişcărilor circulare ale unor corpuri asupra cărora nu acţionează forţe dinafară, la lumea acceleraţiilor determinate de interacţiunea corpurilor. Prima lume — cea a *Dialogului* — nu cuprinde,

---

[1] B. G. Kuznețov se referă la lucrarea lui Galileo Galilei care în traducerea romînească a apărut sub titlul: Galileo Galilei, *Dialoguri asupra ştiinţelor noi*, Editura Academiei R.P.R., Bucureşti, 1961.

în esență, cauzele fizice ale mișcării. Dacă facem abstracție de teoria galileeană a mareelor, adică de sumarea mișcărilor inerțiale care conduce la accelerații, atunci în *Dialog* mișcările nu sînt determinate, în fond, de vreun motiv fizic. Din punctul de vedere al principiului inerției, întrebarea: de ce, din ce cauze fizice corpurile lăsate în voia lor se mișcă pe traiectorii circulare (ulterior rectilinii) nu are semnificație fizică. Motivarea formei anumite a traiectoriei unei mișcări inerțiale era căutată în caracterul ei „natural". Bineînțeles, din punctul de vedere al acumulării de cunoștințe pozitive, „mișcarea naturală" nu este un răspuns, ci o întrebare. Răspunsul rațional la o astfel de întrebare se află în ideea omogenității spațiului. Mișcarea inerțială este un proces fizic, dar ea nu este legată de alte procese, nu găsește și, începînd cu Galilei, nici nu caută explicații în lumea obiectelor fizice legate unele de altele. Dacă vrem să legăm principiul inerției de celelalte legi ale naturii, ajungem în lumea legilor geometrice, care exprimă proprietățile spațiului și legăm inerția de *omogenitatea* acestuia.

Lumea *Convorbirilor* — altă lume — este cea a unor procese fizice legate unele de altele, cum este legată cauza de efect. Ne vom opri acum asupra legilor fundamentale ale acestei lumi descoperite de Galilei.

La *Convorbirile și demonstrațiile matematice* participă aceleași personaje ca și la *Dialog*. Simplicio nu mai este reprezentantul concepției peripatetice asupra lumii, ci este doar cel care pune întrebări; Salviati și Sagredo răspund, iar convorbirea nu are caracterul unei controverse.

Cartea începe printr-o observație a lui Salviati, care menționează izvoarele tehnice ale noțiunilor de mecanică introduse în *Convorbiri*.

„Mi se pare că vizitarea deasă a faimosului dvs. arsenal, domnilor venețieni, deschide minților speculative un cîmp larg pentru a filozofa și în special în partea care se numește mecanică; avînd în vedere că aici se folosesc încontinuu tot felul de instrumente și mașini de către un mare număr de meșteri, între care, datorită atît observațiilor făcute de antecesorii lor cît și celor pe care le fac încontinuu prin experiența proprie, tre-

buie să se găsească foarte mulţi oameni pricepuţi şi ageri la minte"[1].

Sagredo reia această observaţie şi opune experienţa tehnică referirilor constante la izvoarele antice. În aceste fraze introductive se ascunde un mare număr de asociaţii şi generalizări concrete. Galilei era umanist în sensul apartenenţei la mişcarea intelectuală care tindea către cultura antică. Dar pentru el cultura antică nu este o colecţie de canoane literar-artistice şi ştiinţifice, ci un vechi arsenal din care Galilei îşi alege armele, călăuzindu-se după criterii extrase din mecanica aplicată a timpului său. De aici şi marele său interes pentru Arhimede, gînditorul care pregătise într-o largă măsură noţiunile fundamentale cu care avea să opereze mecanica secolului al XVII-lea.

Convorbirea trece apoi de la problemele tehnice la problemele fundamentale ale structurii substanţei. Observaţiile asupra arsenalului şi portului din Veneţia se împletesc cu rezolvarea unor probleme puse de Arhimede şi de alţi gînditori ai antichităţii. Salviati îşi aminteşte cum l-au făcut lucrările de construcţii navale de la Veneţia să se gîndească la problema cauzelor pentru care galerele mari au nevoie de susţinere şi de fixare cînd sînt lansate pe apă, pe cînd vasele mici nu au nevoie. Se poate întîmpla ca vasele mari să nu reziste la propria lor greutate. În legătură cu aceasta se introduce noţiunea de similitudine mecanică. O maşină geometric asemenea cu una dată, însă de dimensiuni mai mari, se deosebeşte printr-o rezistenţă mai mică. Aşadar, paralel cu forţele macroscopice care par să fie proporţionale cu dimensiunile mecanismelor, mai există şi alte forţe care cresc într-o altă proporţie, o dată cu mărirea dimensiunilor mecanismelor. Acestea sînt forţele microscopice. Ele sînt legate de existenţa porilor microscopici ai substanţei. Natura se teme de vid şi se străduieşte să-l elimine, legînd părţile despărţite ale substanţei prin pori cu ajutorul unor forţe de care depinde rezistenţa materialelor. Dar de ce anume depinde rezistenţa părţilor separate prin vid? De viduri şi mai mici din aceste părţi. Repetînd aceeaşi întrebare, ajungem

[1] Galileo Galilei, *Dialoguri asupra stiinţelor noi*, p. 95.

la viduri infinit mici și la părți de substanță infinit mici.

Se expun apoi fundamentele dinamicii. Salviati, Sagredo și Simplicio citesc tratatul lui Galilei *Despre mișcarea locală* și-l discută. În primul rînd, se dă definiția mișcării uniforme. Ea a fost definită ca mișcare în care mobilul parcurge drumuri egale în intervale de timp egale. Galilei adaugă: „... *în oricare* timpuri egale", înțelegînd prin aceasta și intervalele infinit mici. Fără această rezervă, „... se poate întîmpla ca în timpuri oricare egale mobilul să parcurgă spațiii egale, pe cînd totuși spațiile descrise în intervale mai mici ale acelorași timpuri, deși egale, să nu fie egale"[1].

Pentru a exprima dependența liniară dintre distanța parcursă și timp, trebuie, așadar, să trecem de la durate și distanțe finite la durate și distanțe parcurse infinit mici. În acești „acum" și „aici" infinit mici, viteza medie coincide cu viteza invariabilă reală; mai exact, viteza medie tinde către limita raportului dintre drumul parcurs și timp, cînd distanța se restrînge la un punct, iar timpul la o clipă.

Această noțiune — cea de viteză instantanee, de viteză într-un punct dat — este hotarul fundamental al trecerii de la reprezentarea integrală a mișcării la cea diferențială. Viteza constantă nu oferă prilejul de a determina comportarea corpului în fiecare punct. Într-o lume unde corpurile sînt legate prin interacțiuni unul de altul, viteza constantă corespunde unui segment de traiectorie finit, de la un impuls la altul. Așadar, este o mișcare din „ceva" (din punctul unde a primit primul impuls) în „ceva" (în punctul unde a primit al doilea impuls). Mișcarea infinită cu viteză invariabilă, care figurează în *Dialog*, este definită printr-o imagine integrală, deși nu este dată prin condiții inițiale și finale. În capitolul precedent, cînd ne-am ocupat de legile lui Kepler, am arătat că numai accelerația sparge reprezentarea integrală și constrînge la definirea comportării corpului în fiecare „acum" și în fiecare „aici", adică în fiecare punct și în fiecare clipă. În *Convorbiri*, accelerațiile devin obiectul principal al cercetării lui Galilei. Tocmai datorită problemelor accelerării capătă o semni-

[1] Galileo Galilei, *op. cit.*, pp. 251—252.

ficație modernă și noțiunea de viteză. Semnificația inițială a noțiunii de viteză este raportul dintre distanța parcursă și timpul consumat. Cînd se introduce noțiunea de variație continuă a vitezei, mișcarea se caracterizează, în primul rînd, prin valoarea vitezei într-un punct dat. Aici nu se mai poate păstra, în esență, o reprezentare rațională a vitezei, dacă nu considerăm viteza ca limită a unui raport. Restrîngînd un segment considerat pînă la un anumit punct, îl putem considera drept infinit mic, adică el devenind pînă la urmă mai mic decît orice segment dinainte dat; restrîngînd apoi la o clipă intervalul de timp considerat, vedem spre ce limită tinde raportul dintre distanța parcursă și timpul consumat, deci vedem dacă această distanță și acest timp tind către zero, adică dacă ele sînt contrase într-un punct și într-o clipă.

Considerînd o viteză variabilă, care se schimbă mereu, Galilei trebuia să ajungă la ideea de viteză ca limită a raportului dintre drumul care descrește nemărginit și timpul care descrește nemărginit. Astfel s-a creat reprezentarea mișcării ca o infinitate de stări instantanee ale mobilului și au apărut paradoxele infinitului. Simplicio le enunță cu aplicare la viteză. O piatră aruncată în sus trebuie să parcurgă o infinitate de valori scăzătoare ale vitezei; prin urmare, ea nu va ajunge niciodată la viteza nulă, adică nu se va opri. Salviati răspunde printr-un argument analog cu cel al lui Aristotel: pentru a parcurge șirul infinit de valori ale vitezei, mobilul dispune de un șir infinit de clipe. Dar Salviati mai are un argument: el vede în paradoxele mișcării un rezultat al faptului că, în general, mărimilor infinite li se atribuie în mod greșit proprietățile pe care le au mărimile finite. Simplicio spune că reprezentarea de dreaptă ca infinitate de puncte este contradictorie: dacă un segment dat este constituit dintr-o infinitate de puncte, atunci un alt segment, mai mare decît acesta, va conține un număr de puncte mai mare decît infinitul.

„Acestea — răspunde Salviati — sînt dificultăți care provin din raționamentul pe care-l facem cu mintea noastră finită asupra infiniților, dîndu-le atribute pe care le dăm lucrurilor finite și mărginite; aceasta cred că este nepotrivit, deoarece mi se pare că atributele

de mai mare, mai mic şi egal nu se potrivesc infiniţilor, despre care nu se poate spune că unul este mai mare sau mai mic sau egal cu altul"[1].

De aici mai este departe pînă la teoria actuală a numerelor transfinite: A avînd proprietăţile $A+B=A$, $2A=A$ şi „întregul nu este mai mare decît partea", însă Galilei îşi dă seama de fundamentul paradoxelor infinitului actual: aplicarea la mărimile infinite a noţiunii de număr, care nu este generalizată şi se aplică numai mărimilor finite.

Galilei revine de repetate ori în *Convorbiri* la problemele infinitului. Fără a avea posibilitatea să ne ocupăm amănunţit de ideile matematice ale lui Galilei, vom menţiona numai că la nici un gînditor din prima jumătate a secolului al XVII-lea nu întîlnim o înţelegere atît de clară a faptului că finitul şi infinitul sînt cunoscute concomitent[2]. Nu este vorba propriu-zis de preocupările şi de aptitudinile matematice ale lui Galilei şi în orice caz nu este vorba numai despre ele. Galilei a fost creatorul unei imagini a lumii în care infinitul îşi găseşte un prototip fizic sub forma unei mulţimi de stări ale unui corp, a cărui mişcare este definită în fiecare punct şi în fiecare clipă.

Galilei avea şi un prototip pentru corespondenţa biunivocă dintre elementele unei mulţimi infinite şi elementele altei mulţimi infinite. Galilei pune în legătură mulţimea de clipe în care mobilul parcurge punctele spaţiului în drumul său, cu valorile vitezei corpului. Cu alte cuvinte, el stabileşte dependenţa vitezei de timp. Această problemă este rezolvată pentru mişcarea uniform accelerată. În condiţiile acestei mişcări, de exemplu la căderea unui corp, viteza este proporţională cu puterea întîi a timpului care s-a scurs de la începerea mişcării, iar drumul parcurs este proporţional cu pătratul acestui timp. Galilei a verificat această dependenţă printr-un mare număr de experimente, cu un plan înclinat şi cu un pendul în oscilaţie.

Galilei a modificat radical relaţia dintre dinamică şi statică. Am arătat înainte că la antici, în particular la Arhimede, problemele de dinamică se reduceau la

[1] Galileo Galilei, *op. cit.*, p. 127.
[2] *Ibidem*, p. 126.

altele de statică. Galilei, dimpotrivă, definește condițiile de echilibru plecînd de la o perturbare posibilă a echilibrului, de la deplasări infinit mici, care au fost denumite ulterior virtuale. El ajunge la proporționalitatea inversă dintre forțele care se echilibrează, aplicate punctelor unui sistem mecanic, și deplasările virtuale ale acestor puncte. În principiul deplasărilor virtuale întîlnim aceeași tendință fundamentală a creației lui Galilei: referirea amplă la mărimi infinit mici pentru analiza comportării corpurilor în mișcare, cu alte cuvinte, tendința fundamentală a științei moderne — trecerea la reprezentarea diferențială a lumii.

CAPITOLUL VII

ŞTIINŢA CARTEZIANĂ

Începînd cu Copernic, tabloul lumii devine într-o măsură din ce în ce mai mare imaginea unor corpuri *în mişcare*. Universul lui Aristotel, cu centrul său absolut imobil, Pămîntul, cedează locul unui sistem în care Pămîntul se mişcă, iar apoi, la Bruno şi la Galilei — unui tablou al Universului în care se mişcă şi Soarele. Ideea mişcării care cuprinde toate corpurile naturii îşi croieşte drum tot mai departe. În conformitate cu aceasta, criteriul cinematic al mişcării absolute — corpuri de referinţă absolut imobile — este înlocuit printr-un criteriu dinamic, iar mişcarea absolută este raportată la spaţiul însuşi (de altfel, această idee devine distinctă abia la Newton).

Următorul pas de la Universul imobil la unul mobil a fost ideea unei mişcări care garantează însăşi existenţa corpurilor discrete în natură, reprezentarea de mişcare ca formă de existenţă a corpurilor materiale. Această idee şi-a găsit o elaborare sistematică şi consecventă în concepţia cinetică despre lume a lui Descartes (1596—1650).

Concepţia despre lume a lui Descartes este legată direct de ideile iniţiale ale lui Galilei. Această legătură de continuitate nu explică însă răspîndirea uluitor de rapidă a ideilor lui Descartes, influenţa lor asupra ştiinţei şi culturii şi apoi lupta încordată care s-a dus în jurul acestor idei timp de cel puţin un secol. Aceste circumstanţe îşi găsesc o explicaţie în izvoarele pro-

priu-zis istorice, tehnico-științifice și sociale de clasă ale cartezianismului.

În prima jumătate a secolului al XVII-lea se observă în Franța o creștere rapidă a manufacturilor și o întărire a puterii economice a burgheziei. Concomitent, apar mari manufacturi în Țările de Jos, care se eliberaseră recent de sub dominația spaniolă. Descartes împărtășea interesele tehnico-științifice ale cercurilor burgheze din Franța și din Țările de Jos. El a elaborat programe de învățămînt pentru școli speciale de meserii, și-a scris operele și în franceză, adresîndu-se astfel nu învățaților de profesie, ci unor cercuri mai largi, care cuprindeau și pe reprezentanții mecanicii aplicate. La Descartes se întîlnesc pasaje care seamănă cu amintirile lui Galilei despre arsenalul din Veneția, de la începutul *Convorbirilor*. Descartes scrie că noile idei din fizică permit „... să ajungem la cunoștințe care să fie foarte folositoare în viață și că, în locul filozofiei speculative care se învață în școli, s-ar putea găsi una practică, prin care, cunoscînd puterea și acțiunea focului, a apei, a aerului, a aștrilor, a cerurilor și a tuturor celorlalte corpuri care ne înconjură, tot atît de distinct cum cunoaștem diferitele meserii ale meșteșugarilor noștri, le-am putea da, în același chip, toate întrebuințările pentru care se potrivesc, devenind, în modul acesta, întrucîtva stăpîni și posesori ai naturii"[1].

Știința trebuie să cunoască natura „tot atît de distinct, cum cunoaștem diversele meșteșuguri ...". Aceasta este o cerință dintre cele mai importante ale fizicii carteziene. Ea nu avea numai o importanță aplicativă. Fizica, ce tinde către o cunoaștere autentică, clară și distinctă, care folosește matrici cauzale, extrase din experiența tehnică pentru explicarea universală a fenomenelor naturii, intră în conflict cu teologia.

În Franța, cartezianismul a devenit stindardul luptei împotriva teologiei, chiar pentru contemporanii mai tineri ai lui Descartes. În secolul al XVII-lea, burghezia franceză mai avea mult — peste un secol — pînă să se manifeste fățiș împotriva tronului și altarului. Deocamdată, totul se reducea la acorduri de scurtă durată în-

[1] Descartes, *Discurs asupra metodei*, Editura Științifică, București, 1957, p. 89.

tre orășeni și principii rebeli, iar în domeniul ideologic, la o creștere a stărilor de spirit antidogmatice, la răspîndirea unor doctrine eretice, la combaterea scolasticii teologice și a apărătorilor ei — iezuiții. Nu trebuie să minimalizăm importanța istorică a acestor manifestări latente și indirecte, căci în secolul următor s-au tras din ele concluzii antiteologice și politice directe.

Descartes personal s-a ținut departe de lupta ideologică. În 1629, el se mută din Franța în Olanda, unde, după revoluția din anii 1572—1609, savanții aveau mai multă libertate decît în țările rămase sub influența ideologică a Romei. Dar și teologii protestanți ai Olandei și-au dat curînd seama de ascuțișul antiteologic al cartezianismului.

În 1633, Descartes își termină prima expunere sistematică a concepțiilor sale filozofice și științifice în lucrarea *Lumea sau tratat despre lumină*. Dar, după ce tratatul a fost scris, Descartes a aflat despre procesul lui Galilei și despre condamnarea sa și a hotărît să nu publice *Lumea*, deși aici fizica carteziană era expusă sub forma unui fel de „roman al naturii", o povestire ipotetică despre o lume închipuită, a cărei origine și alcătuire sînt explicate în întregime prin legi mecanice. De altfel, această formă ipotetică nu inducea pe nimeni în eroare.

„Nu-i pot ierta lui Descartes următoarele — scrie Pascal — în întreaga filozofie s-ar fi dispensat cu plăcere de Dumnezeu, dar nu s-a putut stăpîni să nu-i dea un bobîrnac, silindu-l să pună în mișcare lumea. După aceea, el nu a mai avut nici o treabă cu Dumnezeu"[1].

În 1637, apare la Leyda, anonim, cartea lui Descartes *Discurs asupra metodei*. Ea mai cuprindea, în afară de tratatul fundamental, *Dioptrica, Meteorii* și *Geometria*. Aceasta din urmă conținea noțiuni care au exercitat o influență colosală asupra întregii dezvoltări ulterioare a matematicii și fizicii. Descartes introducea coordonate rectangulare și definea poziția unui punct în plan prin două numere ce exprimă lungimile perpendicularelor coborîte din punct pe axele de coordonate, care sînt două drepte perpendiculare. Descartes a arătat că natura dependenței unei variabile de o alta corespunde

[1] Pascal, *Pensées*, Paris, 1852, p. 41.

unei anumite forme de curbă ce unește punctele ale căror coordonate sînt valorile mărimii dependente și ale mărimii de care ea depinde. Vom reveni asupra *Geometriei* la sfîrșitul capitolului.

În 1644 a apărut cea mai importantă expunere a ideilor lui Descartes — *Principiile filozofiei*. Această carte a provocat în Olanda atacuri din partea clerului, fiind interzisă, iar apoi arsă de mîna călăului, împreună cu alte scrieri ale gînditorului francez. Descartes voia să se întoarcă în Franța, dar acolo era în toi Fronda — mișcarea largă împotriva absolutismului. Descartes a socotit că solul Franței este prea încins pentru cugetări filozofice calme și a preferat să accepte invitația reginei Christina a Suediei. S-a mutat la Stockholm, unde a murit curînd.

În concepția despre lume a lui Descartes, metafizica idealistă se îmbină cu fizica, în care nu există nimic în afară de materie și de mișcarea ei. Materiei i se atribuie numai predicatul spațial: întinderea. Pe de altă parte, spațiul nu există separat de substanță; nu există vid în lume, astfel că, în fond, substanța coincide cu spațiul. Nici la Aristotel nu exista o deosebire între ele. Însă reunirea substanței și a spațiului are un sens cu totul diferit la Aristotel și la Descartes. Aristotel umple spațiul cu o substanță avînd predicate calitative. Descartes, dimpotrivă, reduce existența la întindere. Înseamnă oare aceasta că la Descartes existența se dizolvă în inexistență, că tabloul cartezian al lumii ar fi tabloul unor deplasări reciproce între părțile spațiului vid? Nu, spațiul lui Descartes este un spațiu plin, iar geometrizarea carteziană a fizicii nu este o vidare a tabloului lumii, ci, dimpotrivă, o umplere a acestuia.

Care este atunci sensul frazei lui Descartes: „Întreaga mea fizică nu este decît geometrie", și al multor altor declarații analoge? În adevăr, geometria este o teorie despre întindere, și numai spațiul ca atare are întindere și nimic decît întindere.

Vom aborda răspunsul la această întrebare după ce vom cunoaște mai amănunțit doctrina carteziană despre loc și mișcare.

Descartes identifică corpul cu locul pe care-l ocupă acesta. Răspunzînd la întrebarea în ce constă natura corpului, el elimină succesiv rigiditatea, greutatea, cu-

loarea, temperatura şi ajunge la întinderea corpului după cele trei dimensiuni. Locul interior al corpului — întinderea corpului în lungime, lăţime şi adîncime — nu se deosebeşte obiectiv de corpul însuşi.

„Spaţiul sau locul interior se deosebeşte şi el numai în gîndirea noastră de substanţa corporală, cuprinsă în acest spaţiu. Şi în adevăr, întinderea în lungime, lăţime şi adîncime, care constituie spaţiul, constituie şi corpul"[1].

Locul exterior este suprafaţa corpurilor care vin în contact cu corpul considerat. Ne apropiem aici de problema cea mai serioasă a fizicii lui Descartes, problemă în care-şi găseşte expresia cea mai gravă aporie a concepţiei mecaniciste asupra lumii. Dacă un corp considerat nu posedă decît întindere, atunci cum poate fi el individualizat, în ce constă deosebirea obiectivă a proprietăţilor ce caracterizează trecerea de la corpul dat la celelalte corpuri ce-l înconjură? Prin ce se deosebeşte un corp dat de mediul înconjurător? Descartes răspunde la aceste întrebări declarînd mişcarea bază a existenţei fiecărui corp. „Mişcarea în sens autentic"[2] este mişcarea unui corp în raport cu corpurile de contact, care garantează existenţa corpului, desprinderea lui din materia omogenă infinită, identică cu spaţiul. Miezul nucii se deosebeşte de coajă şi există realmente ca atare numai dacă el se deplasează în raport cu coaja. Altminteri, frontierele corpului dispar.

Paralel cu acest „sens autentic" al mişcării, Descartes mai admite şi un sens întrucîtva diferit. Mişcarea, „în sensul unanim acceptat", este mişcarea raportată la un corp de referinţă, situat la o anumită distanţă de corpul dat şi considerat ca fiind imobil[3]. Un vas antrenat de curentul unui rîu este imobil „în sens autentic" şi se mişcă „în sensul unanim acceptat" în raport cu malurile. Mişcarea „în sens unanim acceptat" este o mişcare relativă, ea are un sens determinat în raport cu un corp de referinţă anumit. Putem trece de la un corp de referinţă la altul, compunînd mişcarea unui corp în raport cu un anumit corp de referinţă, cu mişcarea acestuia din urmă (a corpului de referinţă ultim). Cît priveşte mişcarea „în sens autentic", aici putem

[1] R. Descartes, *Opere alese*, ediţia rusă, M., 1950, p. 469.
[2] *Ibidem*, pp. 477—478.
[3] *Ibidem*, p. 477.

considera fixe fie corpurile înconjurătoare, fie corpul dat. Din punctul de vedere al individualizării unui corp, această echivalență a celor două sisteme este pe deplin acceptabilă. Pentru desprinderea unui corp din mediu este suficient să existe o diferență între viteza corpului și a mediului său înconjurător, vitezele fiind raportate la un corp de referință arbitrar. Așadar, viteza corpului, raportată la mediul înconjurător, sau, ceea ce este același lucru, diferența dintre viteza mediului și a corpului este criteriul existenței corpului. Materia diferă de spațiul vid, de spațiul ca atare prin faptul că diversele părți ale materiei, altfel spus, diversele părți ale spațiului, au viteze diferite.

În imaginea carteziană a lumii, spațiul capătă, datorită mișcării părților sale, trăsături fizice, iar geometria este „fizicalizată" în aceeași măsură în care fizica este geometrizată. A atribui părților spațiului mișcare, ca proprietate care împarte spațiul în părți — corpurile materiale —, înseamnă nu numai a reduce substanța la spațiu, ci și a ridica spațiul pînă la rangul de substanță. În acest scop însă, trebuie să i se atribuie spațiului proprietăți pe care nu le are spațiul vid — obiect al geometriei obișnuite, nefizicalizate. Descartes face acest pas. El susține că părțile spațiului nu pot fi făcute să coincidă. Tocmai aceasta transformă părțile spațiului în corpuri, iar teoria spațiului, în teorie fizică. „Fizicalizarea" geometriei este legată de trecerea de la *congruența* figurilor geometrice (adică de la posibilitatea de a face să coincidă o figură cu alta) la *identitatea cu sine* a corpurilor fizice. O figură geometrică se poate dovedi identică cu o altă figură geometrică, dacă ele coincid; cît privește corpul fizic, acesta nu poate fi identic decît cu sine însuși.

Întregul sens al „fizicalizării" carteziene a spațiului (dacă vrem să evităm acest neologism, putem spune: geneza geometriei fizice) constă în aceea că Descartes nu atribuie părților spațiului congruență, garantată de coincidența prin suprapunere, ci proprietatea fizică a impenetrabilității, adică el reduce impenetrabilitatea la imposibilitatea de a face să coincidă volumele spațiale. În tabloul cartezian al lumii, fiecare volum al spațiului este identic cu sine însuși, el neputînd fi făcut să coin-

cidă cu altul, şi tocmai în aceasta constă impenetrabilitatea substanţei.

Pierre Régis scrie, expunînd filozofia carteziană, că nu putem adăuga un ţol cub unui ţol cub, fără a obţine doi ţoli cubi.

Înlocuirea noţiunii de congruenţă prin noţiunea de identitate cu sine modifică natura geometriei. Noţiunea de congruenţă corespunde geometriei, ca teorie abstractă care nu ţine seama de proprietăţile fizice ale corpurilor, de identitatea lor cu sine, adică de impenetrabilitate, şi consideră proprietăţile spaţiale idealizate ale corpurilor. La Descartes însă, corpurile fizice nu au alte proprietăţi în afara celor spaţiale. Pentru el geometria nu este ştiinţa unor proprietăţi desprinse abstract ale corpurilor fizice, ci ştiinţa corpurilor înseşi, ştiinţa proprietăţilor lor substanţiale. Corpurile nu posedă decît întindere, însă la Descartes întindere înseamnă impenetrabilitatea părţilor spaţiului, identitatea fiecărei părţi a spaţiului cu ea însăşi. Acest punct de vedere a fost prototipul istoric al geometriei fizice.

Noua concepţie fizică asupra spaţiului schimbă reprezentarea asupra mişcării. Mişcarea unei părţi a spaţiului nu mai înseamnă acum coincidenţa ei succesivă cu alte părţi ale spaţiului. Dar ea nu este nici o mişcare a corpului în vid, formată din variaţia distanţelor la un corp de referinţă. Mişcarea, în accepţia fundamentală şi cea mai importantă pentru concepţia lui Descartes, este un contact consecutiv al corpului cu corpuri înconjurătoare mereu noi. Această mişcare individualizează o parte considerată a spaţiului, drept corp impenetrabil, identic cu sine. Impenetrabilitatea ca atare nu determină încă frontierele corpului, ea nu este decît condiţia individualizării sale. Frontiera devine reală în cadrul mişcării corpului, iar mişcarea determină forma şi mărimea acestuia. De aceea, mişcarea nu este o schimbare de stare, ci starea fundamentală a corpului, existenţa sa ca parte individualizată a spaţiului. Poate oare un corp să rămînă imobil, păstrîndu-şi existenţa; putem oare considera repausul drept o stare a corpului? Este posibil, dacă atribuim repausului un sens relativ: un corp este în repaus „în sensul unanim acceptat", dacă poziţia sa este raportată la poziţia altor corpuri, care se mişcă cu aceeaşi viteză ca şi corpul

considerat. Cît privește deplasarea corpurilor în contact unul față de altul, aceasta are un caracter universal. Trecînd la un anumit sistem de referință, putem reprezenta un anumit corp ca fiind în repaus, dar în nici un sistem de referință nu pot fi fixe un corp dat și corpurile în contact cu el, altfel corpul și-ar pierde existența individuală.

Problema cauzei se poate pune în legătură cu schimbarea de stare, nu însă în legătură cu conservarea ei. Mișcarea circulară este o schimbare a stării corpurilor sub acțiunea impulsurilor comunicate de alte corpuri. Cînd corpul participă la o mișcare turbionară, inerția sa se manifestă în tendința de a se mișca în linie dreaptă: „... adaug că, deși la mișcarea unui corp, calea sa se prezintă de cele mai multe ori sub forma unei linii curbe, și, după cum s-a arătat, deși este imposibil să producem vreo mișcare care să nu fie în vreun fel circulară, totuși, fiecare dintre părțile corpului tinde întotdeauna, ca atare, să și-o continue în linie dreaptă. Și în felul acesta, acțiunea lor, adică înclinația pe care o au pentru mișcare, se deosebește de mișcarea lor"[1]. Această „înclinație care se deosebește de mișcarea lor" se manifestă sub forma forței centrifuge.

În *Tratatul despre lumină,* Descartes pune față în față mișcarea rectilinie cu cea circulară și, în genere, cu mișcarea accelerată. El vrea să demonstreze că mișcarea rectilinie este cea mai simplă.

Simplitatea mișcării rectilinii constă în aceea că direcția ei generală este definită în fiecare punct. De aceea, caracterul mișcării rectilinii pe un segment finit poate fi înțeles dintr-o dată: este suficient să fixăm mișcarea într-un singur moment. Dimpotrivă, mișcarea curbilinie nu poate fi definită prin starea mobilului la un moment dat; trebuie să comparăm două momente și să vedem cum se deosebește mișcarea în al doilea moment de mișcarea în primul moment.

„Dintre toate mișcările, numai mișcarea de pe o dreaptă este perfect simplă. Natura ei poate fi înțeleasă dintr-o dată, deoarece pentru aceasta este suficient să presupunem că un anumit corp se află în stare de mișcare într-o direcție anumită, ceea ce se întîmplă

[1] R. Descartes, *op. cit.*, p. 202.

în fiecare dintre momentele care se pot determina în decursul timpului cît se mişcă. În reprezentarea unei mişcări circulare sau a unei alte mişcări posibile, este necesar, pentru aceasta, să considerăm cel puţin două momente din mişcările respective sau, mai bine, două dintre părţile fiecăreia şi raportul care există între ele"[1].

Conservarea mişcării înseamnă că o anumită stare inerentă corpului la un moment dat rămîne invariabilă şi determină astfel mişcarea pe o porţiune finită. Dacă la un anumit moment corpul se eliberează de sub acţiunea celorlalte corpuri şi-şi păstrează starea pe care a avut-o la momentul indicat, atunci, evident, aceasta va fi o stare capabilă să determine mişcarea corpului în clipele următoare. Însă o mişcare care poate fi determinată după o stare instantanee este o mişcare rectilinie. Descartes ia ca exemplu mişcarea unei pietre aruncate cu o praştie. Piatra se mişcă după o curbă, urmînd mişcarea circulară a extremităţii praştiei. Examinînd starea pietrei într-un punct dat pe o astfel de cale circulară, putem spune că piatra se mişcă pe o direcţie determinabilă, care coincide cu tangenta în fiecare punct. Însă starea corpului într-un punct nu ne spune nimic despre curbura drumului. De aceea, cînd piatra este lansată din praştie, conservîndu-şi mişcarea, ea se mişcă în aşa fel încît mişcarea pe porţiunea finală este determinată în momentul cînd piatra începe să zboare.

În felul acesta, Descartes demonstrează caracterul rectiliniu al mişcării în virtutea inerţiei.

Ce serveşte drept baza cea mai profundă pentru reprezentarea lui Descartes, conform căreia mişcarea rectilinie este mişcarea cea mai simplă, determinată într-un singur punct, adică „aici" şi, respectiv, „acum"? Mişcarea unui corp ne permite să-l deosebim de corpurile înconjurătoare. Dar aceasta este insuficient. Este nevoie de o garanţie că la un moment dat şi la oricare alt moment corpul este unul şi acelaşi. Drept garanţie serveşte caracterul mişcării în care starea unui corp la un moment dat şi într-un punct dat determină starea sa în toate momentele ulterioare şi în toate punctele următoare. Aceasta este mişcarea rectilinie uniformă. Aşadar, avem aici o reprezentare diferenţială

[1] R. Descartes, *op. cit.*, pp. 202—203.

a mişcării în virtutea inerţiei. Această mişcare poate fi definită fără condiţii integrale. Descartes nu cunoştea încă posibilităţile reprezentării diferenţiale a mişcării accelerate, deoarece această problemă a fost rezolvată mai tîrziu, în secolul al XVIII-lea. Baza dezvoltării reprezentării diferenţiale asupra mişcării era formula: mişcarea rectilinie este determinată de starea la momentul iniţial.

Mişcarea rămîne rectilinie cît timp corpurile nu suferă interacţiuni. În fizica lui Descartes, interacţiunea se reduce la ciocniri, iar rezultatele interacţiunii în ansamblu — la o curbare a traiectoriilor care, în lipsa interacţiunilor, ar rămîne rectilinii. Fiecare ciocnire — aceasta este important de subliniat — nu transformă mişcarea rectilinie într-una curbilinie: ea înlocuieşte doar o direcţie rectilinie prin alta, de asemenea rectilinie. Un mare număr de interacţiuni însă dă totdeauna o traiectorie închisă, formează un vîrtej, deoarece corpul se poate mişca în spaţiul plin numai în cazul în care un al doilea corp aflat în faţa lui îi face loc, împingînd pe un al treilea, pînă cînd ultimul dintre corpurile cuprinse în vîrtej va ocupa locul primului corp (bineînţeles, locul său exterior).

Concepţia vîrtejurilor este legată de reprezentarea elasticităţii absolute a corpurilor, la ciocnirile cărora se reduc interacţiunile existente în natură.

Teoria ciocnirii, propusă de Descartes, se referă în întregime la corpuri perfect rigide. Descartes nu ştia — şi aceasta a fost cauza pentru care teoria sa este greşită — să deosebească ciocnirile elastice de cele neelastice. Totul constă în geometrizarea fizicii, în reprezentarea formei şi dimensiunii corpurilor ca fiind proprietăţi care se conservă la mişcare şi garantează identitatea cu sine a corpului.

Se poate arăta că geometrizarea carteziană a fizicii sau, ceea ce este acelaşi lucru, fizicalizarea geometriei a creat prototipurile fizice ale noţiunilor matematice carteziene. Aceasta este valabil în primul rînd pentru noţiunea de mărime variabilă. Descartes înţelege prin mărimi variabile segmente de lungime variabilă, adică coordonatele curente ale unui segment, precum şi numere, variabilele numerice care exprimă lungimea segmentelor de coordonate. Descartes reuneşte segmen-

tele de lungime variabilă și numerele care exprimă această lungime, asociază o variabilă numerică fiecărui segment și abandonează astfel opunerea tradițională dintre numerele discrete și obiectele geometrice continue. El introduce notații literale pentru mărimile variabile și pentru parametri și folosește calculul literal pentru scrierea ecuațiilor din care se pot obține valorile mărimilor variabile. Acestor ecuații le corespund curbe. În felul acesta se creează expresiile algebrice și geometrice ale dependențelor funcționale dintre mărimile variabile.

Care sînt prototipurile fizice ale variabilei lui Descartes?

Sub aspect logic, variabila este subiectul care variază, rămînînd totodată identic cu sine, un subiect a cărui variație ne permite să afirmăm că avem de-a face mereu cu același subiect. Cînd vorbim despre variație, însuși cuvîntul „variație" are sens numai în cazul în care este vorba despre modificările unui subiect care rămîne identic cu sine.

În *Geometria* lui Descartes poate servi ca exemplu de mărime variabilă ordonata unui punct. De ce putem vorbi, nu despre o mulțime de ordonate, ci despre o singură ordonată care variază? În aceasta constă trecerea de la o mulțime de valori distincte la mărimea variabilă identică cu sine. Garanția identității cu sine este continuitatea variației ordonatei, precum și existența unei anumite legi care leagă variația ordonatei cu variația abscisei — lege care este exprimată de ecuația curbei.

Să luăm un corp în accepția lui Descartes, adică un volum de spațiu, un „loc interior", individualizat prin mișcarea sa în raport cu mediul. Să presupunem, mai departe, că acest corp este o particulă ale cărei dimensiuni pot fi neglijate. Particula se mișcă în spațiu, adică își schimbă poziția în funcție de timp. Poziția se schimbă continuu, fiecărei noi clipe corespunzîndu-i un nou punct pe traiectoria particulei. Aceasta este prima garanție pentru identitatea cu sine a particulei. Mai departe, schimbarea poziției particulei este legată de o lege definită (exprimată de ecuația de mișcare) de variația timpului: dacă este dată valoarea timpului,

putem obține, prin operații matematice anumite, valoarea coordonatelor spațiale. Fiecărei valori a timpului îi corespunde o poziție spațială a particulei și numai una. În cazul cel mai simplu, obținem coordonatele unui punct, înmulțind timpul cu anumite numere constante date (componentele vitezei constante) și adunînd la produsele obținute valorile inițiale ale coordonatelor corespunzătoare. Cu alte cuvinte, coordonatele sînt proporționale cu puterea întîi a timpului, poziția fiind o funcție liniară de timp. Prototipul acestei dependențe este mișcarea rectilinie uniformă, deci mișcarea în virtutea inerției. În cazul descris de noi, existența legii care garantează identitatea cu sine a particulei își găsește expresia în raportul constant dintre drumul străbătut și timpul scurs. Într-un caz mai complicat, devine funcție liniară de timp viteza care variază continuu: este mișcarea uniform accelerată. În general se poate spune că prototipul fizic al variabilei lui Descartes este mișcarea unei particule identice cu sine. Prin urmare, prototipul noțiunii fundamentale a *geometriei* lui Descartes este noțiunea fundamentală a *fizicii* carteziene.

Așadar, trăsătura cea mai generală a fizicii carteziene este reprezentarea de corp — desprins grație mișcării unei părți a spațiului —, deci reprezentarea de corp identic cu sine, deoarece se mișcă continuu și după o lege determinată ce leagă poziția fiecărui punct al corpului de timp.

Această idee a lui Descartes este atît de generală și fundamentală încît dezvoltarea ulterioară a științei a menținut-o.

Pentru orice teorie fizică, de la Descartes și pînă la Einstein, interacțiunea particulelor nu distruge identitatea lor cu sine, ci se reduce doar la o modificare a legii care leagă poziția particulei de timp. În capitolul al optsprezecelea ne vom ocupa de trecerea radicală de la o imagine a lumii bazată pe identitatea cu sine a particulelor în mișcare, la o nouă imagine unde noțiunea fundamentală este transformarea unei particule de un tip într-o particulă de alt tip.

Să spunem cîteva cuvinte despre teoria carteziană a structurii substanței și a dezvoltării ei.

Teoria lui Descartes despre substanță zugrăvește particule de formă diferită și diversele lor configurații.

Dar acestea nu sînt atomi autentici. Fiecare corp care se deplasează în raport cu mediul înconjurător, adică posedă existenţă individuală, poate fi considerat drept particulă.

„Observaţi — scrie Descartes în *Tratatul despre lumină* — că aici, ca şi peste tot, consider drept o singură particulă tot ce este reunit laolaltă şi nu este în stare să se despartă, deşi cele mai mici particule pot fi despărţite uşor într-o mulţime de alte particule, şi mai mici. Astfel, un fir de nisip, o piatră, o stîncă, şi chiar Pămîntul întreg din acest punct de vedere pot să fie considerate ca o singură particulă, deoarece vedem aici doar o singură mişcare perfect simplă şi perfect uniformă"[1].

Există părţi discrete relativ stabile ale substanţei. Ele formează elementele focului (particule care se mişcă repede, se fragmentează şi umplu intervalele între celelalte particule), ale aerului (particule sferice) şi ale Pămîntului (particule mari, care se mişcă încet). Particulele unui corp solid sînt imobile, particulele corpurilor fluide se află într-o mişcare permanentă una în raport cu alta. Creşterea treptată a vitezei acestei mişcări formează un şir neîntrerupt de la corpurile perfect rigide, pînă la cele mai fluide. Flacăra constă din particule (mai ales ale primului element) aflate într-o mişcare foarte rapidă. Căldura — mişcarea particulelor — se transmite de la un corp la altul. În corpurile combustibile solide, particulele cele mai uşoare capătă o mişcare rapidă şi formează un fluid. În aceasta consta arderea corpului. Dacă toate particulele capătă o mişcare rapidă, corpul se topeşte.

Descartes a arătat că pe baza legilor generale ale mişcării se formează lumi asemănătoare cu a noastră. Explicaţia cauzal-mecanică a naturii se amplifică pînă la proporţiile unui tablou cosmogonic. Noţiunea cea mai importantă a cosmogoniei carteziene este cea de vîrtej. Deoarece spaţiul este umplut, un corp poate să se mişte numai ca element al unui şir circular închis de corpuri; în acest caz, corpul aflat în faţă permite corpului considerat să înainteze, iar însuşi corpul considerat face loc ultimei verigi a lanţului închis. Vîrtejuri

[1] R. Descartes, *op. cit.*, p. 182.

de acest fel au creat lumea și servesc și astăzi drept cauză a fenomenelor astronomice, fizice, chimice și biologice.

Cosmogonia lui Descartes zugrăvește diferențierea elementelor din haosul inițial al unor particule în mișcare dezordonată. Fiecare mișcare a unei particule este, în spațiul plin, un element într-un vîrtej circular. Particulele se mișcă în diferite direcții; prin urmare, există o mulțime de vîrtejuri inițiale. Treptat, mișcarea particulelor se ordonează și se formează o serie de vîrtejuri în care particulele se sortează, ocupă locuri determinate, corespunzătoare dimensiunilor și mobilității lor. Particulele cele mai mari se strîng în centrul vîrtejului, iar celelalte particule formează straturi concentrice în jurul acestui centru. În urma tocirii continue a particulelor sferice aparținînd celui de-al doilea element, se formează un exces de fragmente mici; ele sînt în cantitate mai mare decît cea necesară pentru umplerea intervalelor dintre particulele sferice. Excesul se concentrează în anumite centre turbionare. Cu timpul se formează din aceste particule Soarele și alte corpuri centrale incandescente ale vîrtejurilor, asemănătoare cu el. Planetele sînt antrenate de curgerea fluidului ceresc și tind totodată către centrul vîrtejurilor. În cele din urmă, ele încep să se învîrtească pe orbite determinate. Pămîntul a fost cîndva un glob incandescent într-un vîrtej și era constituit din primul element. El a absorbit vîrtejul mai mic al Lunii, devenind apoi el însuși o parte a unui vîrtej mare: sistemul solar. Mai departe, Descartes înfățișează evoluția Pămîntului. Unele particule ale primului element s-au transformat în particule puțin mobile ale celui de-al treilea element. S-a format scoarța terestră, iar dedesubtul ei sînt straturi concentrice care înconjură un sîmbure incandescent, avînd aceeași compoziție ca și Soarele. Formarea mărilor, a munților etc. este explicată prin legi pur mecanice.

În fizica lui Descartes ocupă un loc special problema eterului și a propagării luminii.

După părerea lui Descartes, mediul format din particule ale celui de-al doilea element transmite lumina asemenea unei bare rigide care se deplasează sub acțiunea mișcării particulelor corpului luminos și acționează asupra ochiului.

La sfîrşitul secolului a apărut o altă idee. Huyghens (1629—1695) a fost de părere că lumina reprezintă o *mişcare ondulatorie* a unui mediu subtil ce umple spaţiul pe care noi îl credem vid.

Numele lui Huyghens — unul dintre cei mai mari matematicieni, mecanicieni şi fizicieni ai secolului al XVII-lea — a intrat în istoria ştiinţei mai ales datorită teoriei ondulatorii a luminii, datorită reprezentării despre undele din eter. În 1678, pe cînd lucra la Paris la rezolvarea unor probleme de fizică, Huyghens a prezentat Academiei de Ştiinţe de la Paris o comunicare despre teoria sa asupra luminii. Curînd, Huyghens a trebuit să se întoarcă în patria sa, în Olanda, deoarece ca protestant a avut de suferit persecuţii religioase în Franţa catolică. În 1690 a apărut la Leyda cartea sa *Tratat despre lumină,* unde, recurgînd la analogii acustice, Huyghens demonstra că lumina este formată din unde ale eterului. Ele se propagă datorită faptului că fiecare punct din eter la care ajung undele luminoase devine el însuşi o sursă de unde: „... fiecare particulă a substanţei în care se propagă unda trebuie să-şi comunice mişcarea, nu numai particulei celei mai apropiate, situată pe dreapta dusă de la punctul luminos, ci îşi comunică în mod necesar mişcarea şi tuturor celorlalte particule cu care vine în contact şi care îi împiedică mişcarea. Aşadar, în jurul fiecărei particule trebuie să se formeze o undă în al cărei centru se află ea [particula]"[1].

Acesta este celebrul principiu ondulatoriu al lui Huyghens. Propagarea luminii, subordonată principiului lui Huyghens, concordă mai curînd cu viteza finită a luminii, măsurată de Roemer în 1675, decît cu bara rigidă carteziană, care se deplasează în ansamblul ei şi transmite instantaneu lumina de la izvor la ecranul iluminat sau la ochi.

Să spunem cîteva cuvinte şi despre fiziologia carteziană.

Descartes a înglobat întregul ansamblu al fenomenelor biologice în tabloul mecanic unitar al lumii. El s-a bazat pe descoperirile în fiziologie ale secolului al XVII-lea şi, în primul rînd, pe descoperirea circulaţiei

[1] Huyghens, *Tratat despre lumină,* ediţia rusă, M.—L., 1935, p. 31.

sîngelui. Această descoperire a lui Harvey (1578—1657) este expusă în cartea *Cercetare anatomică asupra mișcării inimii și a sîngelui la animale*, apărută în 1628. În această carte, Harvey descrie inima ca pe un mușchi a cărui contracție trimite sîngele în plămîni (din ventriculul drept) și în aortă, iar apoi în toate părțile corpului (din ventriculul stîng). Harvey cunoștea structura valvulelor venelor și, referindu-se la ea, a demonstrat că sîngele circulă prin vene de la periferie spre inimă. Legînd aorta și secționînd-o, Harvey a arătat că sîngele se mișcă în ea venind de la inimă, anume din auriculul stîng. Pînă la Harvey se credea că, ajungînd la periferia corpului, sîngele se brînzește și formează diversele țesuturi. Harvey nu știa de existența capilarelor și nu cunoștea mecanismul circulației sanguine, dar el a demonstrat pe o cale indirectă circulația sîngelui, calculînd cantitatea de sînge care trece prin inimă.

„Investigații teoretice și experimente — scrie Harvey — au confirmat următoarele: sîngele trece prin plămîni și prin inimă datorită contracției ventriculelor, din care este trimis în tot corpul, pătrunde în vene și în «porii țesutului» și revine de la periferie la centru prin vene, întîi prin cele subțiri, iar apoi prin cele mai groase, pentru a trece, în sfîrșit, prin vena cavă în auriculul drept. Astfel, sîngele curge prin artere de la centru spre periferie, iar prin vene de la periferie la centru, într-o cantitate imensă. Această cantitate de sînge este mai mare decît ceea ce ar putea da hrana, precum și mai mare decît ceea ce este necesar pentru nutriția corpului. Prin urmare, trebuie să conchidem că la animale sîngele este într-o mișcare circulară și permanentă. În aceasta constă activitatea sau funcțiunea inimii, realizată prin bătăile ei. Și, desigur, mișcarea inimii și activitatea manifestată în timpul pulsului este unul și același lucru"[1].

Lucrarea lui Harvey a dat un important impuls interpretării mecanice a proceselor fiziologice, dar nu mai puțin și construirii imaginii mecanice universale a

[1] Harvey, *Cercetarea anatomică asupra mișcării inimii și a sîngelui la animale*, trad. în l. rusă, M.—L., 1827, p. 63.

lumii. În acest sens ea este o etapă importantă, nu numai în dezvoltarea istorică a teoriei asupra vieții, ci și a științelor naturii în ansamblul lor. Descoperirea lui Harvey și o seamă de alte descoperiri din fiziologia secolului al XVII-lea au pus în evidență legile mecanice care guvernează fenomenele vieții. De altfel, aceste descoperiri s-au oprit în fața chimismului fenomenelor vitale, pe care chimia secolului al XVII-lea nu era în stare să-l dezvăluie.

În concepția sa fiziologică, Descartes ia ca punct de plecare mișcarea particulelor, care generează organismul și servește drept cauză a funcțiunilor sale. Animalele își îndeplinesc toate funcțiunile vitale, fără a avea un suflet gînditor, ci numai în virtutea legilor mecanicii. Descartes zugrăvește tabloul generării organismului din substanță anorganică. Mișcarea particulelor exercită o presiune asupra mediului înconjurător și-l condensează. Se formează pereții inimii. Sîngele, care condensează și el prin mișcarea sa mediul înconjurător, formează vasele sanguine. În virtutea faptului că spațiul este plin, mișcarea sîngelui trebuie să fie circulară, iar sîngele revine la inimă, creînd în calea sa diverse organe, prin acțiunea sa pur mecanică asupra substanței.

Nu are sens să expunem mulțimea de detalii fanteziste — fire, tuburi, pîrghii — care explică în fiziologia lui Descartes toate funcțiunile organismului. Descartes înglobează în schema interpretării mecanice atît excitarea nervilor periferici, cît și reacțiile motorii ale organismului. Acesta este prototipul teoriei reflexelor. Așadar, corpul omului și al animalului seamănă cu un mecanism. Descartes identifică corpul animalului cu o mașină, însă omul are „suflet rațional"; aici metafizica lui Descartes ridică un obstacol în calea fizicii sale. Cu mai bine de o sută de ani mai tîrziu, La Mettrie, prin teoria „omului-mașină", a depășit inconsecvența lui Descartes.

Trebuie spus că reprezentarea mecanică asupra organismului a fost extrem de răspîndită în secolele al XVII-lea—XVIII-lea. Celebrul constructor de automate, Droz cel bătrîn, a construit un băiat mecanic, care scria cu o pană, iar Droz cel tînăr a construit o pianistă, care

cînta o piesă, făcea o reverență publicului etc. Inchiziția l-a aruncat în închisoare pe Droz cel bătrîn pentru încercarea de a crea un om viu, încălcînd astfel prerogativa divină. Se pare că nu numai inchiziția, ci și însuși Droz, precum și mulți oameni credeau că, prin construirea unui mecanism destul de complicat, este posibilă nu numai o apropiere de un prototip viu, ci și crearea lui. În secolele al XVII-lea—al XVIII-lea aceste iluzii au fost, incontestabil, legate de ideile lui Descartes, care, în romanul său despre natură, „a repetat lucrarea lui Dumnezeu în întregime", cu ajutorul unor mijloace mecanice.

CAPITOLUL VIII

DINAMISMUL ŞI FUNDAMENTELE MECANICII CLASICE

Dezvoltarea reprezentării mecanice asupra lumii a impus transformarea stilului de gîndire ştiinţifică în direcţia preciziei, a rigurozităţii şi a cercetării cantitative, matematice a naturii. Lipsa de univocitate a modelelor cinetice particulare ale lui Descartes contrazicea caracterul ştiinţei din a doua jumătate a secolului al XVII-lea şi, într-o şi mai mare măsură, din prima jumătate a secolului al XVIII-lea. Microscopul, instrumentele de măsură şi dezvoltarea studiului experimental al naturii au creat o situaţie în care numeroase construcţii ale fizicii carteziene aveau un aspect arhaic. Ipotezele care nu admiteau o verificare experimentală păreau — şi erau efectiv — arbitrare, iar ipotezele susceptibile de o verificare nu rezistau adeseori la aceasta, astfel că era nevoie ca vechile modele cinetice să fie întărite prin noi ipoteze de sprijin care însă mai mult ameninţau să le strivească sub greutatea lor decît le sprijineau. Univocitatea a devenit o condiţie nu numai pentru dezvoltarea imaginii mecanice asupra lumii, ci şi pentru existenţa însăşi a acestei imagini.

Ea s-a obţinut prin introducerea în tabloul lumii a unor legi fenomenologice şi a unor relaţii matematice a căror natură cinetică nu a fost luată în considerare. Totodată, s-a schimbat însăşi semnificaţia expresiei „tabloul lumii". Încă de la Descartes tabloul lumii îşi pierduse culorile şi devenise monocrom. Acum, el s-a transformat într-un desen, într-un grafic, într-o schemă

de relaţii cantitative între evenimentele pe care le reprezintă. Această schemă reflectă însă într-un mod univoc realitatea, ceea ce era un imens pas înainte. De acum înainte, tabloul mecanic al lumii devine un sistem de observaţii tot mai precise şi mai scrupuloase şi de legi cantitative tot mai exacte

Acest pas înainte al ştiinţei s-a făcut într-o situaţie ideologică complicată. Reconsiderarea ipotezelor cinetice, legată de progresul studiului experimental al naturii, a fost complicat, iar uneori denaturat şi absolutizat într-un mod arbitrar de reacţiunea ideologică împotriva cartezianismului. Dacă la Descartes fizica, după ce se desprinsese de metafizică, nu atenta încă la substanţialitatea spiritului, în schimb, la Spinoza substanţa-întindere pretindea la rolul de substanţă unică. Aceasta a provocat reacţiunea.

În Anglia secolului al XVII-lea studiul experimental al naturii a căpătat impulsuri deosebit de puternice din partea industriei manufacturiere şi a comerţului maritim. Coroana, parlamentul şi burghezia stimulau studiul experimental al naturii. Dar şi reacţiunea ideologică era aici destul de puternică. Revoluţiile din anii 1649 şi 1688 s-au terminat (în fond, au şi început) cu un compromis între burghezie şi proprietarii funciari. Ele au avut loc sub lozinci religioase. În Anglia nu exista mediul social atît de amplu şi de influent, care, dincolo de Canalul Mînecii, recepţiona cu atîta sensibilitate concluziile antiteologice ale fizicii carteziene. Materialismul englez era blocat pe pămîntul său natal. În Anglia, lupta împotriva concluziilor antiteologice ale ştiinţei era purtată în alt mod decît în ţările catolice. Într-o conferinţă ţinută în anul 1692, „... în apărarea religiei creştine împotriva necredincioşilor: atei, deişti, păgîni, evrei şi mahomedani", Bentley, capelanul episcopului de Worcester, spunea că religia trebuie apărată cu „volumele impresionante ale naturii vizibile". În Anglia nu a existat ceva analog inchiziţiei, influenţele teologice acţionau de obicei chiar în cadrul literaturii ştiinţifice, iar aici un segment al curbei cunoaşterii era deosebit de frecvent dogmatizat şi conducea spre teologie.

Dar în ce a constat această spiră a cunoaşterii, indiferent de dogmatizarea ei?

Ne vom mărgini aici să caracterizăm ideile pozitive fundamentale ale lui Newton, care, mai mult decît oricare alt gînditor al generației sale, a introdus în imaginea lumii nu numai un nou conținut, ci și un stil principial nou de explicare univocă a naturii.

Newton s-a născut în 1643 și a murit în 1727. Și-a petrecut tinerețea în Lincolnshire, iar apoi cei treizeci și cinci de ani mai fecunzi la Cambridge, în calitate de student și apoi de profesor la Trinity College și, în sfîrșit, treizeci de ani la Londra, în calitate de director al Monetăriei. După ce a stat șase ani la Cambridge, Newton s-a întors pentru doi ani în satul său natal — Wilstorpe, din Lincolnshire, din cauza izbucnirii unei epidemii de ciumă. În timpul acestor doi ani (1665—1666) el a ajuns la ideea calculului infinitezimal, la ideea atracției universale și la alte generalizări fundamentale. Întreaga viață ulterioară a lui Newton a fost consacrată fundamentării, elaborării și aplicării acestor idei de la Wilstorpe. Ne vom ocupa numai de legile fundamentale ale mecanicii, de noțiunile de spațiu, timp și mișcare absolute și relative, de legea gravitației și de calculul infinitezimal. Vom trece peste celelalte lucrări ale lui Newton (printre care teoria și experimentele expuse în *Optica*, teoria corpusculară a luminii, descompunerea luminii solare printr-o prismă de sticlă, construirea telescopului reflector etc.). Ele au fost jaloane de o importanță primordială în istoria dezvoltării științelor naturii, dar în această carte trebuie să ne limităm la fundamentele imaginii asupra lumii, la principiile care au modificat nu numai conținutul disciplinelor științifice, ci și caracterul de ansamblu al concepției științifice asupra lumii. Dintre aceste principii fac parte: legea inerției, legea forței, legea acțiunii și reacțiunii, precum și noțiunile newtoniene de spațiu, timp și mișcare, ideea de gravitație, expuse în *Principiile matematice ale filozofiei naturale* (1687), și elementele calculului diferențial și integral.

Primul dintre principiile newtoniene ale mișcării spune:

„Orice corp își păstrează starea de repaus sau de mișcare uniformă în linie dreaptă, dacă nu este constrîns de forțe imprimate să-și schimbe starea"[1].

[1] Isaac Newton, *Principiile matematice ale filozofiei naturale*, Editura Academiei R.P.R., București, 1956, p. 37.

De pe acum, forţa apare în rolul de cauză a acceleraţiei. Procesele de schimbare din lume se reduc la acceleraţii, iar acceleraţiile sînt determinate de acţiunile unui corp asupra altuia. Fără aceste acţiuni, corpurile îşi păstrează starea de repaus sau de mişcare uniformă şi rectilinie.

Principiul al doilea, principiul fundamental al mecanicii newtoniene, se ocupă într-o formă pozitivă de acceleraţii şi de cauzele lor — forţele:

„Variaţia mişcării este proporţională cu forţa motoare imprimată şi este dirijată după linia dreaptă în lungul căreia este imprimată forţa"[1]. Newton încă nu vorbeşte aici direct despre acceleraţii, ci doar despre variaţia mişcării, adică despre schimbarea cantităţii de mişcare. Variaţia cantităţii de mişcare se produce în cursul unui interval de timp finit şi pe o distanţă finită, parcursă de corp. Forţa care acţionează în cursul acestui timp, pe această distanţă, modifică viteza, şi, corespunzător, viteza fiind înmulţită cu un coeficient constant — masa — duce la modificarea cantităţii de mişcare.

Mai departe, după ce expune noţiunea de creşteri infinit mici ale timpului şi ale drumului, Newton arată că, sub influenţa forţei care acţionează asupra corpului la un moment dat şi într-un punct dat, viteza se schimbă şi că această variaţie instantanee a vitezei poate fi determinată. Întîi trebuie determinată viteza într-un punct (deoarece masa este invariabilă, iar prin aceasta se defineşte şi cantitatea de mişcare).

În cazul general, cînd considerăm o viteză care variază continuu, definiţia vitezei instantanee necesită anumite noţiuni noi. Trebuie să trecem de la raportul dintre creşterea scăzătoare a drumului, care tinde să se reducă la un punct, şi a timpului, care tinde să se reducă la o clipă, spre raportul dintre limitele lor. Acest raport-limită este tocmai viteza instantanee. Mai departe, trebuie să luăm creşterea vitezei în cursul unui anumit interval de timp şi, contractînd la o clipă acest timp, să stabilim către ce limită tinde raportul dintre variaţia vitezei şi timp. Altfel spus, trebuie să repetăm operaţia de trecere la raportul-limită. Aplicată creşterii drumului, această operaţie ne-a condus la viteza instantanee; acum,

[1] Isaac Newton, *op. cit.*, p. 37.

aceeași operație de trecere la limită, aplicată rezultatului primei operații, adică vitezei, ne dă accelerația instantanee a corpului.

Acesta este, în tratare modernă, sensul noțiunii de accelerație, așa cum figurează în *Principii*.

Principiul al treilea — „Reacțiunea este totdeauna contrară și egală cu acțiunea: sau, acțiunile reciproce a două corpuri sînt totdeauna egale și dirijate în sensuri contrarii"[1] — relevă caracterul reciproc al acțiunii dintre corpuri. Accelerația este un rezultat al interacțiunii corpurilor. Newton ilustrează al treilea principiu al mișcării prin exemplul unui cal care trage cu o anumită forță o sfoară de care este legată o piatră grea; calul este tras de piatră cu o forță egală și orientată în sens contrar. Menționăm că putem ignora o latură a interacțiunii, considerînd acțiunea unui corp asupra celuilalt fără a ține seama de acțiunea de răspuns. De exemplu, putem considera gravitarea corpurilor spre Pămînt, neglijînd gravitarea Pămîntului spre aceste corpuri.

Pe baza celor trei axiome ale mișcării se deduce un mare număr de consecințe, dintre care vom cita numai una singură, care convine principiului clasic al relativității:

„Mișcările corpurilor închise într-un spațiu dat sînt aceleași între ele, fie că acel spațiu se află în repaus, fie că el se mișcă rectiliniu și uniform fără mișcare circulară"[2].

Aici este vorba despre un spațiu care se mișcă și este legat de corpuri determinate, despre ceea ce se numește acum sistem de referință legat de un corp în mișcare. Principiul relativității, așa cum este enunțat în rîndurile de mai sus, înseamnă că în corpurile în mișcare nu au loc efecte dinamice, dacă sistemul se mișcă rectiliniu și uniform. Menționăm că principiul relativității mișcării inerțiale este formulat aici pe baza reprezentării de spațiu absolut. Mișcarea uniformă și rectilinie a unui sistem și repausul acestuia sînt raportate la spațiul absolut. Dacă renunțăm la spațiul absolut, atunci principiul clasic al relativității se reduce la afirmația că în lume există sisteme care se

[1] Isaac Newton, *op. cit.*, p. 37.
[2] *Ibidem*, p. 42.

mişcă uniform şi rectiliniu unul în raport cu altul şi că în toate aceste sisteme legile mecanicii acţionează în acelaşi fel. Un corp asupra căruia nu acţionează forţe nu-şi schimbă viteza, iar un corp aflat sub acţiunea unei forţe, adică un corp în interacţiune cu alte corpuri, suferă o acceleraţie proporţională cu forţa menţionată. Indiferent de sistemul cu mişcare uniformă şi rectilinie în care definim viteza şi acceleraţia unui corp, acesta din urmă suferă întotdeauna o acceleraţie proporţională cu forţa.

Dat fiind că mişcarea în virtutea inerţiei nu determină efecte dinamice locale şi este în acest sens relativă, dovada existenţei spaţiului absolut este dată de mişcările accelerate, în particular de cele de rotaţie, care determină forţe centrifuge.

„Efectele prin care se deosebesc între ele mişcările absolute şi relative sînt forţele cu care corpurile tind să se îndepărteze de la axa mişcării circulare. În adevăr, în mişcarea circulară pur relativă aceste forţe sînt nule, însă în mişcarea circulară adevărată şi absolută ele sînt mai mari sau mai mici după cantitatea de mişcare"[1].

Vom cita celebrul exemplu al vasului ce se roteşte şi care, de două secole şi jumătate, nu a mai dispărut din paginile lucrărilor unde se discută noţiunea de mişcarea absolută. Newton scrie:

„Dacă se atîrnă un vas de un fir lung şi se învîrteşte încontinuu pînă ce firul devine rigid din cauza sucirii, apoi se umple cu apă şi se aduce în stare de repaus împreună cu apa, atunci dacă printr-o forţă instantanee oarecare se pune în mişcare circulară de sens contrar şi firul desrăsucindu-se, vasul persevereză mai mult timp în această mişcare, suprafaţa apei la început va fi plană ca şi înainte de mişcarea vasului. Dar după aceea vasul imprimînd forţa începtul cu începtul apei, face ca şi aceasta să înceapă a se roti; ea se îndepărtează pe începtul de centru şi se ridică pe pereţii vasului luînd o formă concavă (după cum am experimentat eu însumi) şi mişcarea devenind tot mai rapidă, se ridică din ce în ce mai mult pînă ce, rotaţiile efectuîndu-se în intervale egale cu ale vasului, apa ajunge

[1] Isaac Newton, *op. cit.*, p. 33.

în repaus relativ față de el. Această ridicare indică tendința de îndepărtare de la axa de mișcare și printr-o atare tendință se cunoaște și se măsoară mișcarea circulară adevărată și absolută a apei, aici cu totul contrară celei relative. La început cînd mișcarea relativă a apei față de vas era maximă, această mișcare nu provoca nici o tendință de îndepărtare de axă. Apa nu căuta periferia ridicîndu-se pe pereții vasului, ci rămînea plană, și de aceea mișcarea ei circulară adevărată nu începuse încă. Dar după aceea, cînd mișcarea relativă a apei descreștea, ridicarea ei pe pereții vasului indica tendința de îndepărtare de axă, și această tendință arăta mișcarea circulară adevărată incontinuu crescătoare a apei, și în sfîrșit atingerea maximului cînd apa se afla în repaus absolut față de vas. Așadar această tendință nu depinde de deplasarea apei față de corpurile înconjurătoare, și pentru aceea mișcarea circulară adevărată nu poate fi determinată prin astfel de deplasări. Mișcarea circulară adevărată a unui corp oarecare în rotație este unică corespunzînd unei sforțări unice ca unui efect propriu și potrivit. Iar mișcările relative, din cauza relațiilor variate față de corpurile externe, sînt nenumărate, și după chipul relațiilor sînt cu totul lipsite de efecte reale afară doar dacă iau parte la mișcarea adevărată și unică"[1].

Rotația unei găleți și rotația lumii în jurul găleții dau efecte diferite. Efectele care apar la rotația găleții în spațiul imobil și care servesc drept criteriu al caracterului absolut al mișcării sînt efecte dinamice locale. Newton le extinde și la Cosmos. Oriunde întîlnim o manifestare a forței centrifuge (de exemplu, turtirea Pămîntului la poli) se poate vorbi despre o mișcare absolută. Ea este raportată la spațiul absolut. Spre deosebire de imaginea antică a lumii, Newton nu merge de la spațiul absolut la mișcarea absolută, ci invers. La antici, mișcarea absolută a unui corp era reprezentabilă cinetic, ea consta din variația distanței la centrul absolut fix al lumii, în genere ea era raportată la un spațiu neomogen, îmbrăcat peste sistemul locurilor naturale. La Newton, dimpotrivă, mișcarea absolută se manifestă numai dinamic, prin apariția forțelor de

[1] Isaac Newton, *op. cit.*, pp. 33—34.

inerție. În spațiu nu există nici locuri naturale, nici corpuri notoriu fixe. De aceea, noțiunea fundamentală este cea de mișcare absolută, care se manifestă prin efecte dinamice. Din caracterul absolut al mișcării rezultă că locurile pe care le schimbă corpul sînt părți ale spațiului absolut.

Să trecem la noțiunea de timp absolut. Newton distinge timpul absolut, care nu depinde de evenimente, și timpul relativ — „... măsură (precisă sau neegală) sensibilă și externă a oricărei durate determinate prin mișcare ..."[1]. Dezvoltarea ulterioară a mecanicii a concretizat definiția timpului absolut. Ea se deosebește de definiția spațiului absolut. Spațiul absolut este un spațiu neraportat la un corp de referință. Poziția în spațiul absolut — locul absolut al unui corp — nu este definită prin distanța sa la corpul de referință, ci prin efectul dinamic la deplasarea accelerată din locul considerat într-un alt loc. Această noțiune de spațiu absolut este singura posibilă, dacă spațiul este recunoscut omogen. S-ar fi putut crede că timpul absolut ar fi timpul neraportat la un eveniment concret, care servește drept origine a măsurătorii. Însă timpul era considerat omogen încă din antichitate, deoarece legendele creaționiste despre facerea lumii și ideea ciclurilor absolute ale existenței nu au exercitat nici o influență asupra conținutului pozitiv al concepțiilor științifice. Ideea unui început absolut al timpului (înaintea căruia să nu fi existat timp) și a unui sfîrșit absolut al timpului (după care timpul s-ar opri) a fost enunțată de repetate ori, însă ea a influențat prea puțin cunoștințele pozitive.

Dacă nu există evenimente care să servească drept hotare ale timpului, drept început natural al măsurării lui etc., înseamnă că timpul absolut nu poate avea sens, analog cu cel atribuit spațiului absolut cu limite naturale și cu centru natural. Încă în antichitate, problema consta în altceva: timpul se măsoară prin mișcare, mișcarea are viteze diferite, deci în ce fel poate fi identificat timpul măsurat printr-o mișcare cu timpul măsurat printr-o altă mișcare? Dacă îl putem identifica pe unul cu celălalt, înseamnă că există un timp unic, indepen-

[1] Isaac Newton, *op. cit.*, p. 31.

dent de mișcările vreunui corp, că el există și durează în sine. Așadar, timpul absolut este timpul care nu depinde de viteza mișcării sistemului în care este măsurat.

În mecanica lui Newton, garanția acestei independențe a timpului de mișcare, garanția existenței unui timp unic pentru tot Universul, este propagarea instantanee a interacțiunilor. Dacă fundamentul absolutizării newtoniene a spațiului constă în forțele de inerție, în apariția unor forțe nelegate de interacțiunea corpurilor, în schimb, fundamentul absolutizării newtoniene a timpului este acțiunea instantanee la distanță. Propagarea instantanee a interacțiunilor este o idee mai generală și mai fundamentală a fizicii clasice decît acțiunea la distanță în sens spațial obișnuit, adică în care se ignoră mediul transmițător al interacțiunilor corpurilor. Atît barele rigide ale lui Descartes, cît și forțele newtoniene, care se propagă prin vid, garantau simultaneitatea a două evenimente: 1) corpul A, aflat în punctul a, acționează asupra unui corp B și 2) în punctul b, corpul B suferă această acțiune.

Ne vom ocupa întîi de ideea acțiunii la distanță sub aspectul ei spațial, adică de noțiunea de acțiune la distanță în sens obișnuit. Ulterior, va trebui să analizăm această problemă sub un aspect mai larg și să urmărim trecerea la ideea vitezei finite a propagării interacțiunilor.

Începînd cu Newton, se conturează împărțirea științei în două domenii: într-unul, accelerațiile sînt determinate de forțe date, iar în al doilea, forțele sînt determinate prin distribuția dată a izvoarelor lor. Problemele de primul gen — problemele mecanicii — se rezolvă cu ajutorul unor ecuații, care exprimă, într-o formă sau alta, principiul al doilea al lui Newton (accelerația este direct proporțională cu forța și invers proporțională cu masa corpului). Problemele de al doilea gen (cele propriu-zis fizice) se rezolvă cu ajutorul unor ecuații care au primit denumirea de ecuații ale cîmpului. Newton a creat fundamentele teoriei cîmpului gravitațional, respectiv a dedus legea gravitației, care definește forța gravitației în orice punct al spațiului cînd sînt date masa și poziția corpului ce servește drept izvor al forțelor gravitaționale, adică ale corpului care atrage spre sine alte corpuri.

Legea gravitației a fost un fundament al fizicii, după cum principiile newtoniene ale mișcării au constituit fundamentul mecanicii. Este important de subliniat că după modelul teoriei gravitației au fost construite ulterior teorii fizice care studiau și alte forțe, negravitaționale. Forțele gravitaționale leagă între ele absolut toate corpurile din natură, adică ele se află într-o interacțiune generală, nu specifică, iar legea gravitației [care exprimă cantitativ modul de manifestare a acestor forțe] determină relația dintre materie și spațiu și relația tuturor corpurilor materiale unul față de altul. În acest sens, gravitația creează unitatea reală a Universului.

Nu ne vom ocupa aici de drumul pe care Newton a ajuns la celebra sa relație: forța de gravitație dintre două corpuri este proporțională cu produsul maselor lor și invers proporțională cu pătratul distanței dintre ele. Dacă vom considera interacțiunea forțelor numai dintr-o singură parte, adică dacă vom determina cu ce forță este atras spre un corp A un alt corp B, și nu vom ține seama de atracția care acționează, la rîndul ei, asupra lui A, vom ajunge la noțiunea de cîmp al corpului A. Cîmpul gravitațional poate fi definit în fiecare punct, arătînd cu ce forță ar acționa cîmpul în punctul dat asupra unei mase egale cu unitatea. Mărimea forței care acționează asupra corpului, împărțită prin masa corpului, adică mărimea forței care revine unei unități de masă, se numește intensitatea cîmpului. Ea nu depinde de corpul de probă și este prezentă parcă în fiecare punct al spațiului, indiferent dacă respectivul corp de probă se află sau nu într-un punct dat. Fără îndoială că această reprezentare este convențională și formală; fizicienii secolului al XVIII-lea, care au introdus noțiunile de cîmp și de intensitate a cîmpului, nu s-au gîndit de loc că în fiecare punct ar exista o anumită cauză reală a acțiunii asupra corpului, înainte ca acesta să nimerească în punctul considerat. Noțiunea de cîmp gravitațional a fost introdusă ca o abstracție matematică formală, pentru ușurarea calculului forțelor gravitaționale care acționează asupra unor corpuri determinate. Dar noțiunea formală de cîmp era o cale de trecere spre noțiunea fizică de cîmp, spre reprezentarea de mediu fizic care transmite acțiunea unui corp asupra altui corp și suportă deformații reale, adică mediul exis-

tent independent de prezența sau de absența altor corpuri.

Vom vedea mai departe că această reprezentare a căpătat un caracter univoc și cert abia în electrodinamică. În secolele al XVII-lea—al XVIII-lea, cînd singura interacțiune studiată dintre corpuri era cea gravitațională, ideea de cîmp putea să ia un caracter univoc numai în calitate de reprezentare formală.

Nu numai ipotezele cinetice în spirit cartezian ortodox care explicau gravitația prin acțiunea mecanică a eterului au servit ca premisă pentru noțiunea fizică univocă de cîmp. Influența acestor ipoteze asupra dezvoltării științei a fost indirectă, deși esențială. Mai nemijlocită s-a dovedit a fi concepția formală a cîmpului. Și, în sfîrșit, este greu de supraevaluat valoarea condiției de univocitate enunțată de Newton și tot de el pusă la baza teoriei gravitației și a întregii fizici clasice, ceea ce constituie un lucru cel puțin la fel de important.

Am ajuns la punctul în care sistemul lui Newton a exercitat cea mai mare influență asupra stilului gîndirii științifice și, mai mult chiar, asupra caracterului gîndirii oamenilor în ansamblul ei. Neunivocitatea medievală a adevărurilor relative din știință în raport cu adevărurile absolute ale Revelației era de mult părăsită. Exista o neunivocitate a concepțiilor parțiale, justificată prin univocitatea ideii generale a tabloului științific despre lume. Newton cerea — și prin el cerea aceasta noua perioadă de dezvoltare științifică și culturală — univocitate și unicitate în toate concepțiile care fac parte din tabloul lumii. Patosul univocității pătrunde întreaga creație a lui Newton și explică unele dintre formulările sale și chiar multe trăsături ale biografiei lui. Între altele, el explică celebrul „Nu născocesc ipoteze!" *(Hypotheses non fingo!)*, care a fost adeseori înțeles drept o condamnare generală a oricăror modele ipotetice. În realitate, această formulare se referea la o problemă pe deplin concretă, deși foarte generală. Newton a refuzat să formuleze și să discute schema unui aparat diferențial care să transmită gravitația de la un punct la altul prin spațiul ce separă corpurile grele.

Cînd newtonienii mărgineau, în principiu, explicația științifică la o descriere fenomenologică a faptelor,

atunci, în măsura în care era vorba despre gravitație, ei transformau nevoia în virtute. Gravitația nu putea fi efectiv explicată într-un mod univoc printr-un tablou intuitiv al proceselor ce se desfășoară într-un mediu. Dar de aci era departe pînă la renunțarea principială la o astfel de explicație. În acest sens, Newton personal nu a fost newtonian; el își dădea seama de insuficiența descrierii fenomenologice, însă aceasta nu schimbă lucrurile. Tratarea fenomenologică a gravitației nu era rezultatul unei intenții subiective, ci era impusă de starea cunoștințelor din domeniul fizicii.

Newton nu s-a menținut totdeauna pe poziția fenomenologică a acțiunii la distanță. Au existat la el destule șovăieli în această problemă. Pe noi ne interesează însă spira necesară a cunoașterii, reprezentarea fenomenologică asupra propagării instantanee a gravitației prin vid. În esență, avem aici un fel de revenire la o reprezentare integrală, numai că la Aristotel ea se referea la timp (cunoaștem starea la momentul inițial și starea la momentul final; nu știm ce s-a întîmplat între aceste stări și explicăm procesul prin rezultatul său final, prin cauza sa finală), pe cînd în teoria gravitației ea se referea la spațiu (știm numai că într-un punct se creează un cîmp gravitațional și este cunoscut că el acționează asupra unui corp dintr-un alt punct; nu știm ce anume se propagă de la un punct la altul și considerăm mediul intermediar drept simplă distanță dintre punctul inițial și cel final).

Atît la Aristotel, cît și la Newton, renunțarea la o explicație cauzală diferențială era condiționată, temporară, nedefinitivă. Era o întrebare adresată viitorului, nu o soluție definitivă. Însă atît la Aristotel, cît și la Newton, iar într-o măsură considerabil mai mare la epigonii unuia și ai celuilalt, renunțarea condiționată la o explicație cauzală diferențială a fost absolutizată, ea s-a cristalizat și a dus la noțiuni necauzale care depășeau în general limitele științei, la noțiunile de finalitate imanentă și de acțiune la distanță necondiționată. Atît la unul, cît și la celălalt, renunțarea principială la acțiunea din aproape în aproape în timp (teleologie) și în spațiu (acțiune la distanță) a condus la teologie.

Aşadar, concepţia fenomenologică a acţiunii la distanţă a însemnat o renunţare la reprezentarea diferenţială şi o oarecare revenire la cea integrală. Dar aici a intrat în joc o lege a dezvoltării ştiinţei, pe care am mai întîlnit-o: generalizarea matematică a cunoştinţelor de fizică a croit drum unei noi reprezentări fizice. Am avut de-a face cu această lege şi în ştiinţa antică: generalizarea matematică (şi logică) a concepţiei integrale aristotelice a croit drum explicaţiei diferenţiale mecanice. În secolul al XVII-lea, generalizarea matematică a noţiunilor mecanicii newtoniene a croit drum reprezentării diferenţiale asupra propagării gravitaţiei şi asupra interacţiunii corpurilor în genere: întîi concepţiei formale de cîmp de forţe, iar apoi noţiunii fizice de cîmp, în care interacţiunea corpurilor se propagă de la un punct la altul şi de la o clipă la alta. În cursul secolului care-l desparte pe Newton de Lagrange şi de Laplace, teoria gravitaţiei a evoluat de la schema integrală a acţiunii la distanţă, adică de la tabloul unor corpuri între care nu există nimic în afară de distanţă, la schema cîmpului gravitaţional (nu încă la tabloul, ci doar la schema formală a cîmpului gravitaţional) în care mişcarea corpului sub influenţa forţei de gravitaţie este explicată prin condiţiile din punctul considerat. Această evoluţie a constituit fundamentul concepţiei fizice ulterioare asupra cîmpului, care, după cum am mai spus, s-a dezvoltat pe baza electrodinamicii, nu pe baza teoriei gravitaţiei. Menţionăm că această evoluţie nu se explică numai prin logica interioară a noţiunilor ştiinţei. Ea nu s-ar fi produs dacă secolul care-l desparte pe Newton de Lagrange şi Laplace nu ar fi fost secolul care desparte revoluţia engleză, cu lozincile ei religioase, de revoluţia franceză, dacă el nu ar fi fost secolul care desparte finalul teologic al *Principiilor* newtoniene de „Nu am nevoie de această ipoteză" — răspunsul dat de Laplace lui Napoleon, la întrebarea de ce nu există în lucrarea sa referiri la Dumnezeu.

Generalizarea matematică, care a permis trecerea la avîntul superior al concepţiei mecanice asupra lumii, a pornit de la stabilirea noţiunilor de derivată, diferenţială şi integrală — fundamentele analizei infinitezimale.

În secolul al XIX-lea, după lucrările lui Cauchy, s-a constituit o reprezentare a acestor noțiuni care poate fi expusă pe scurt după cum urmează:

O variabilă dată variază concomitent cu variația altei variabile, de care ea depinde și a cărei funcție este. Printre diversele variabile, întîlnim unele care se apropie oricît de o anumită mărime constantă. Dacă valoarea absolută a diferenței dintre variabilă și această constantă devine, pînă la urmă, și rămîne mai mică decît orice număr, cît vrem de mic, atunci constanta se numește limita variabilei. Variabila se numește un infinit mic, dacă limita ei este zero. Analiza infinitezimală consideră limita raportului dintre creșterea a două variabile, dintre care una este funcție de cealaltă, de exemplu limita raportului dintre creșterea drumului și creșterea timpului. Acest raport-limită se numește, după cum se știe, derivata unei funcții. Viteza într-un punct dat este limita raportului dintre creșterea drumului și creșterea timpului, adică derivata drumului parcurs în raport cu timpul. Aflarea derivatei unei funcții date, de exemplu aflarea vitezei cînd este dat drumul parcurs, se numește derivare. Operația inversă — aflarea funcției primitive după derivata ei — se numește integrare. Putem afla derivata unei derivate, care se numește derivata de ordinul doi sau derivata a doua. Derivata a doua a drumului în funcție de timp este accelerația.

Înmulțind creșterea variabilei independente cu derivata funcției, obținem diferențiala acestei funcții. Diferențiala drumului parcurs de o particulă este produsul dintre creșterea timpului și derivata drumului în raport cu timpul, adică viteza particulei în momentul cînd a început creșterea considerată a timpului. Dacă în intervalul de timp pe care-l numim creșterea timpului viteza nu a variat, atunci diferențiala drumului coincide cu creșterea efectivă. În cazul general însă, viteza variază continuu, iar creșterea efectivă a drumului în intervalul de timp considerat (creșterea timpului) va diferi de diferențială. Vom împărți timpul într-un număr tot mai mare de intervale, adică vom lua un număr tot mai mare de momente inițiale și de creșteri care despart de ele momentele ulterioare. Fiecare creștere o vom înmulți cu viteza la momentul inițial corespunzător. Adunînd aceste produse, vom căpăta valorile aproximative,

din ce în ce mai precise ale drumului parcurs. Acest fel de limită a sumei unui număr infinit crescător de mărimi infinit descrescătoare, se numeşte, după cum se ştie, integrală, în cazul de faţă integrala vitezei în raport cu timpul.

Creînd analiza infinitezimală, Newton a luat ca punct de plecare noţiunea de derivată. Prototipul ei a fost viteza variabilă a unui corp care se mişcă sub acţiunea unei forţe.

Dacă respectivul corp se mişcă în virtutea inerţiei, atunci legea care leagă poziţia corpului de timp este dependenţa liniară de timp a acestei poziţii. Viteza fiind constantă pe întreg segmentul, ea coincide cu viteza într-un punct şi obţinem drumul corpului, înmulţind timpul scurs cu această viteză constantă. Dacă însă corpul se mişcă sub acţiunea unei forţe constante, atunci nu mai este constantă viteza, ci acceleraţia.

Newton generalizează noţiunea de drum parcurs de o particulă şi cea de viteză şi introduce noţiunea de fluentă (variabilă) şi de fluxiune (viteza de variaţie a fluentei, adică derivata acestei variabile). Newton nu avea reprezentarea clară a fluxiunii ca limită a raportului dintre creşterea variabilei dependente şi a argumentului ei. Dar Newton a indicat calea care duce la această reprezentare, introducînd noţiuni care au condus la concepţia formulată mai sus asupra mărimilor *variabile* infinit mici şi asupra derivatei ca raport-*limită* între ele.

Raportul-limită, de exemplu limita raportului dintre drum şi timp, adică viteza, caracterizează cu absolută precizie mişcarea într-un punct dat şi la un moment dat. Constatarea vitezei într-un punct şi în genere a oricărui raport-limită dintre mărimi variabile nu este legată de vreo ignorare prin compromis a extensiunii reale a mărimilor; infiniţii mici îşi păstrează extensiunea şi definim derivata nu ca raport al acestor mărimi variabile, ci ca limită către care tinde acest raport cînd variabilele tind către zero.

Newton a pornit pe calea care conduce la reprezentarea de infiniţi mici ca mărimi variabile şi la noţiunea de limită, introducînd „rapoartele prime" ale mărimilor care apar şi „rapoartele ultime" ale mărimilor care dispar. Aceste noţiuni figurează în *Consideraţii despre cuadratura curbelor* (scrise în formă iniţială în 1665,

completate și publicate ulterior, în 1704) și în *Principiile matematice ale filozofiei naturale*. Aici nu este vorba cîtuși de puțin despre „rapoartele ultime" ale mărimilor în momentul în care le recunoaștem ca fiind neglijabil de mici. Este vorba despre ultimele rapoarte către care tind mărimile variabile fără a le atinge, adică despre rapoartele-limită.

În lucrarea *Metoda fluxiunilor și a seriilor infinite* (1670—1671; publicată abia în 1736), Newton vorbește despre două probleme: aflarea fluxiunilor după fluente, de exemplu a vitezei instantanee după drumul parcurs (problema derivării), și aflarea fluentelor după fluxiuni, de exemplu a drumului după viteză (problema integrării). Aceste probleme sînt enunțate ca probleme de mecanică: trebuie aflată viteza la un moment dat, după lungimea dată a drumului parcurs, iar în al doilea caz, lungimea drumului parcurs, după viteză. Newton a introdus notații pentru derivată: el înseamnă prima derivată a mărimii x cu $\dot{x}$, iar pe a doua cu $\ddot{x}$. Așadar, dacă x este coordonata unei particule, atunci viteza ei este $\dot{x}$, iar accelerația ei este $\ddot{x}$. Aceste notații se folosesc și astăzi pentru derivatele în raport cu timpul.

În *Metoda fluxiunilor*, Newton avertizează că noțiunile matematice pe care le introduce reprezintă generalizarea categoriilor mecanice, că asimilarea fluxiunii cu viteza de creștere a drumului parcurs este doar o analogie inițială și exemplul cel mai important al corelației generale dintre fluență și fluxiune. „În cele ce urmează — scrie Newton — voi considera mărimile ca fiind generate de o creștere continuă, analog cu drumul...". În conformitate cu aceasta, poate servi drept variabilă independentă orice mărime, dacă raportăm la ea toate celelalte mărimi ca una despre care știm sigur că variază uniform și infinit. Noțiunea generalizată a timpului se întîlnește și în *Principii*. Această generalizare croiește drum unor noi noțiuni fizice. Să ne imaginăm că variabila independentă este spațiul, de exemplu distanța spațială de la centrul gravitației, și că trebuie să calculăm forța de gravitație în fiecare punct. Știm acum că rezolvarea unor astfel de probleme este legată de ideea de cîmp de forțe, adică de spațiu, în care fiecărui punct îi corespunde o valoare determinată a forței acționînd asupra unității de masă. Știm, de asemenea, că

o astfel de continualizare formală a gravitației, care umple spațiul cu mărimi pur matematice, s-a transformat ulterior în tabloul unui mediu material, care transmite forța de la un punct la altul și (după ce a fost demonstrată viteza finită a propagării interacțiunilor) de la un moment la altul. Așadar, generalizarea matematică a mecanicii acțiunii la distanță a condus la fizica acțiunii din aproape în aproape.

Reprezentarea de fluxiune ca raport-limită (mai exact, tendința care a condus la această reprezentare) a convietuit la Newton cu o altă tendință, anume cu ideea mărimilor infinit mici, considerate ca fiind lipsite de întindere, însă posedînd o anumită relație una față de alta. Cînd Newton vorbește despre rapoartele prime și ultime, este cîteodată neclar dacă el se referă la *raportul-limită* dintre mărimile variabile sau la *raportul valorilor constante care sînt limitele acestor mărimi.*

În ansamblu, Newton înclină spre ideea rapoartelor-limită dintre mărimi, care rămîn variabile și nu-și ating niciodată limitele. În această problemă însă, pasajele respective din *Metoda fluxiunilor* și din *Principii* nu sînt pe deplin clare. La Newton, teoria limitelor nu a existat sub forma unei concepții închegate, ci sub forma unui program, sau a unei tendințe. La Newton a existat o anumită divergență în problemele înțelegerii și ale fundării infinitezimalelor.

Sensul acestei divergențe la Newton contrazice reprezentarea tradițională a sistemului newtonian, ca adevăr în ultimă instanță, precum și reprezentarea despre precizia absolută a categoriilor newtoniene. Însă univocitatea formulelor din *Principii* se îmbină cu divergența reală a ipotezelor cinetice din *Optică* și cu versiunile neclare din *Metoda fluxiunilor.*

Ideile lui Newton au apărut în următoarele două secole și mai definitive decît ideile lui Aristotel în evul mediu. Știm însă că șuvoiul viu, continuu al căutărilor și al abordărilor și-a făcut drum și prin creația lui Aristotel. Acest șuvoi străbate întreaga istorie a științei. În toate marile teorii științifice, chiar în cele mai canonizate, întîlnim „spiritul lui Faust", pe care Goethe l-a opus, cu o atît de profundă înțelegere a esenței creației științifice, filistinului „spirit al lui Wagner". Tocmai de

aceea sînt valabile pentru istoria științei cuvintele lui Jaurès: „Să luăm din trecut focul, nu cenușa".

Căutările și întrebările adresate viitorului există în știință alături de afirmațiile pozitive, iar de cele mai multe ori chiar sub formă de afirmații pozitive. Numai o analiză retrospectivă pune în evidență caracterul de problemă al acestor afirmații și adevărata lor semnificație istorică. Un exemplu foarte clar de deosebire între concluziile proprii ale unui învățat și semnificația reală a noțiunilor introduse de el este linia „continentală" a dinamismului din secolele al XVII-lea – al XVIII-lea. Este vorba despre dinamismul lui Leibniz (1646—1716). Știm acum că ideile lui Leibniz conțineau întrebări adresate viitorului, la care a răspuns abia știința secolului al XIX-lea. Aceasta este valabil, în particular, pentru concepția leibniziană a infinitezimalelor. Concepția pozitivă a lui Leibniz asupra analizei matematice nu s-a păstrat în știință, ea a cedat locul unei concepții mai armonioase, bazate pe noțiunea de trecere la limită. Însă întrebările implicate de versiunea leibniziană nu au fost suprimate, noțiunile lui Leibniz și-au găsit echivalenți fizici în știința secolului următor. El însuși nu cunoștea, și nu putea să cunoască aceste prototipuri, atît în virtutea insuficienței cunoștințelor concrete de la sfîrșitul secolului al XVII-lea și începutul secolului al XVIII-lea, cît și în virtutea climatului ideologic general în care a trăit Leibniz.

În creația lui Leibniz și-au găsit o oglindire unele trăsături specifice ale dezvoltării științei în Germania. În a doua jumătate a secolului al XVII-lea, Germania, divizată și ruinată în urma Războiului de 30 de ani, trecea printr-o gravă criză economică și culturală. În condițiile stagnării economice, știința experimentală s-a dezvoltat mai încet aici decît în Anglia și Olanda. În Germania, încă nu răsunau cu toată puterea noile cerințe față de teoria științifică, legate de dezvoltarea manufacturilor și a comerțului mondial, și decurgînd direct din răspîndirea și dezvoltarea experimentului. Aici, știința cartezian nu părea arhaică, în sensul neunivocității și al incertitudinii concepțiilor concrete în fața judecății experimentului și a practicii. Aici se acorda mai puțină atenție acestui aspect, dar dificultățile generale ale carteziănismului se aflau în centrul atenției. Ele erau discutate

în legătură cu problemele teologiei și au căpătat o importanță esențială în condițiile ciocnirilor și compromisurilor ideologice.

Leibniz, mare maestru al sintezei științifice și practice, filozof, matematician, fizician, jurist și diplomat, care tindea să reunească protestantismul cu catolicismul și teologia în ansamblul ei cu știința, era deranjat într-o măsură extrem de mică de neunivocitatea concepțiilor particulare ale fizicii lui Descartes. El voia să construiască întregul sistem cartezian complex de explicare cinetică a diverselor procese naturale pe baza unor principii fundamentale noi, care să nu mai fie cinetice, ci dinamice, deducînd totodată din ele concluzii filozofice în spiritul idealismului obiectiv, al teleologiei și al teologiei propriu-zise.

Însă logica interioară a noțiunilor mecanice și matematice pe care Leibniz le-a opus cartezianismului era îndreptată în alt sens, ea spărgea cadrul schemei filozofice leibniziene și a condus, în cele din urmă, la atomistică. Putem distinge legăturile directe dintre categoriile introduse de Leibniz — acest geniu al compromisului ideologic — și creația științifică a gînditorilor secolului al XVIII-lea, care s-au dezvoltat în epoca asaltului fățiș împotriva teologiei și au luat parte la acest asalt.

Punctul de plecare al criticii cartezianismului în lucrările lui Leibniz este imposibilitatea de a individualiza un corp care nu are alte proprietăți în afară de întindere. Dacă un lucru nu are decît întindere, atunci în lume nu pot exista nici mișcare — ea își pierde sensul — nici varietate, nici înlănțuire între părțile corpului, nici impenetrabilitatea lor. Indiscernabilitatea părților spațiului (a unui „aici" de un alt „aici") conduce la indiscernabilitatea timpului (a unui „acum" de un alt „acum").

După Leibniz, întinderea corpului ca atare nu are sens dacă acesta nu are proprietăți dinamice. Corpul își manifestă întinderea prin impenetrabilitate. După cum am văzut, Descartes atribuise impenetrabilitatea chiar părților spațiului, „fizicalizîndu-l" în acest fel. Dimpotrivă, Leibniz consideră impenetrabilitatea drept o expresie a proprietăților dinamice nespațiale ale corpurilor. Spațiul este o categorie nesubstanțială, iar întinderea este un rezultat al existenței dinamice active a corpului.

În lucrările lui Leibniz, constatarea dificultăților reale ale fizicii carteziene se împletește cu apărarea teologiei. Explicația mecanică a naturii poate deveni, după Leibniz, necontradictorie și în același timp nepericuloasă pentru teologie, dacă în locul geometrizării materiei vom pune la baza acestei explicații înzestrarea materiei cu proprietăți dinamice, singurele substanțiale.

„Aceste considerații — scrie Leibniz — mi se par importante nu numai pentru cunoașterea naturii substanței întinse, ci și pentru a nu neglija în fizică principiile superioare și imateriale, în dauna pietății. Deși sînt convins că în natura corporală totul se face mecanic, cred totuși că înseși principiile mecanicii, adică legile prime ale mișcării, au o origine mai înaltă decît cea pe care le-o poate da matematica pură. Dacă lucrul acesta ar fi mai bine cunoscut și luat în seamă într-un grad mai mare, mulți oameni pioși nu ar avea, cred, o părere atît de proastă despre filozofia corpusculară, iar noii filozofi ar îmbina mai bine cunoașterea naturii cu cunoașterea creatorului ei"[1].

Leibniz spune că întinderea este rezultatul acțiunii unei substanțe dinamice neîntinse, mai exact — al unei mulțimi de substanțe individualizate, pe care, în 1697, Leibniz le-a denumit *monade*. Monadele nu sînt puncte geometrice — acestea ar presupune existența spațiului — ci, după cum spune Leibniz, monadele generează chiar ele spațiul. Ele însă nu sînt nici atomi, dat fiind că atomii au întindere. La Leibniz spațiul este declarat o categorie fenomenologică, la fel cu timpul; spațiul este ordinea fenomenelor observate la un același moment, iar timpul este ordinea fenomenelor care se succed unul după altul. Lumea spațio-temporală se schimbă în virtutea unor cauze mecanice. Monadele, care sînt entități lipsite de întindere, nu exercită influență asupra proceselor fizice. Corespondența dintre lumea spațio-temporală cauzală și lumea entităților spirituale se realizează în virtutea armoniei prestabilite, care, la epigonii lui Leibniz, în primul rînd la Wolff, a luat forma celei mai plate teleologii"[2].

---

[1] *Leibnitii opera philosophica*, Ed. Erdman, Berlin, 1839, p. 114.

[2] Vezi F. Engels, *Dialectica naturii*, pp. 8—9.

Nu avem nevoie să-l urmăm pe Leibniz în construcţiile extrem de artificiale şi greoaie ale monadologiei. Cercetătorii naturii din secolul al XVIII-lea, care au împărtăşit concepţia monadelor, le-au înţeles drept centre de forţe lipsite de extensiune. Aici acţionau de acum legile istorice. Oricît s-a străduit Leibniz să transfere monadele în lumea metafizică a entităţilor spirituale, în ştiinţă au figurat atomii dinamici fără întindere, care s-au dovedit curînd a fi punctul de plecare al reprezentărilor propriu-zis atomistice, unde se opera cu particule avînd întindere. Oricît de puternice au fost influenţele teologice în ştiinţă, dezvoltarea ei fundamentală a fost determinată de dezvoltarea forţelor de producţie, care putea să aibă loc mai repede într-o ţară şi mai încet în alta, însă ea nu putea să se oprească.

Dezvoltarea forţelor de producţie, dezvoltarea experimentului, a tehnicii măsurătorilor şi a noilor mijloace de observaţie au rupt conţinutul pozitiv, terestru al ştiinţei de concepţiile metafizice. Marx scrie despre ştiinţa de la începutul secolului al XVIII-lea:

„Toată bogăţia metafizicii se limita acum numai la esenţe ale gîndirii şi la lucruri cereşti, şi aceasta tocmai într-un timp cînd esenţele reale şi lucrurile pămînteşti începeau să concentreze asupra lor tot interesul"[1].

Ştiinţa pozitivă a preluat de la Leibniz schema centrelor de forţă punctuale discrete: atomistica dinamică. Leibniz avea însă şi concepţii care au condus la reprezentarea extensiunii atomilor şi, mai departe, la ierarhia părţilor discrete ale materiei. În primul rînd, Leibniz a văzut în lumea organică o infinită ierarhie de structuri tot mai mici, care nu se termină printr-o verigă astructurală şi, cu atît mai puţin, lipsită de întindere. Descoperirea microorganismelor i-a apărut lui Leibniz ca o dovadă că fiecare organism viu a existat înainte sub forma unui germen foarte mic, însă pe deplin format, nedeosebit structural de organismul adult. Din acest punct de vedere, ontogeneza se reduce la creşterea cantitativă a germenului. Generaţia următoare este conţinută, probabil, sub formă de germen în organele germenului şi aşa mai departe, pînă la infinit. Această

[1] Karl Marx—Friedrich Engels, *Opere*, vol. 2, E.S.P.L.P., Bucureşti, 1958, p. 142.

teorie preformistă extremistă a căpătat denumirea de teorie a involuției. Din ea rezultă ideea complexității infinite a substanței vii. Organismul se deosebește de mașină prin ierarhia infinită a structurilor, care se pierde în adîncurile substanței vii. Mașina, spune Leibniz, constă din elemente care nu sînt mașini, pe cînd substanțele vii continuă să fie mașini, adică posedă o structură determinată, oricare ar fi părțile în care le-am diviza. Fiecare ramură este o grădină, fiecare părticică a unui organism viu este tot atît de complexă ca un iaz plin cu pește.

Ideea șirului de structuri cuprinse una în alta a intrat în teoria naturii anorganice abia o dată cu atomistica secolului al XIX-lea, cînd atomul, molecula, corpul macroscopic au apărut ca verigi consecutive ale șirului de părți discrete din ce în ce mai mici ale substanței, posedînd forme de mișcare specifice. Într-o *astfel de* atomistică, indivizibilitatea particulelor este relativă, ea fiind o indicare a trecerii inevitabile spre o concepție calitativ diferită a mișcării în cadrul trecerii la elementele structurale ale particulelor.

Drumul spre acest tablou a fost croit de ideile matematice ale lui Leibniz. El a formulat, independent de Newton, metodele calculului diferențial și integral. El le-a introdus într-o formă în esență identică cu cea actuală. Ne interesează definiția infinitezimalei la Leibniz. Ideile sale matematice se caracterizează prin destul de multe contradicții și șovăieli și, în afară de aceasta, ele au variat chiar în timpul vieții lui Leibniz. De aceea, putem găsi în lucrările lui Leibniz concepții diferite asupra categoriilor matematice fundamentale, în primul rînd concepții diferite asupra infinitezimalelor.

În celebrul său tratat din 1684, Leibniz consideră diferențiala drept o mărime arbitrară. Ulterior însă (1695) el vorbește despre diferențiale ca despre creșteri infinit mici ale variabilei independente și ale funcției ei, înțelegînd prin infinitezimală o mărime constantă, o creștere atît de mică în comparație cu mărimea inițială, încît poate fi socotită egală cu zero. Acest „poate fi socotită egală" nu înseamnă că infinitezimala are efectiv valoarea zero. Faptul că este socotită egală cu zero este justificat prin valoarea infimă a mărimii infi-

nitezimale în comparație cu mărimile la care este adăugată sau din care este scăzută.

În anul 1702, Leibniz îi scria lui Varignon: „Incomparabil mai micul nu are rost să fie luat în considerare în raport cu incomparabil mai marele: astfel, o particulă a fluidului magnetic care trece prin sticlă este incomparabilă cu un fir de nisip, firul de nisip cu globul terestru, globul terestru cu Cosmosul"[1].

Christian Wolff, care a popularizat și a simplificat, între altele, și ideile matematice ale lui Leibniz, scrie în manualul său de analiză: „Observați bine că o mărime infinitezimală poate fi luată drept zero numai în comparație cu o alta, iar în sine ea nu este egală cu zero. În adevăr, închipuiți-vă că vreți să măsurați înălțimea unui munte și că în timpul acestei lucrări, vîntul a luat un fir de nisip de pe vîrful lui. Așadar, muntele a devenit mai puțin înalt cu diametrul unui fir de nisip [respectiv, înălțimea muntelui, minus diametrul unui fir de nisip]. Totuși, dat fiind că măsurarea muntelui se efectuează în așa fel, încît valoarea înălțimii va fi una și aceeași, indiferent dacă firul de nisip rămîne pe vîrful lui sau este luat de vînt, putem socoti că firul de nisip nu este nimic în comparație cu un munte mare, considerînd astfel mărimea sa drept o infinitezimală în comparație cu înălțimea muntelui... Tot astfel, în astronomie, considerăm diametrul Pămîntului în comparație cu distanța pînă la Soare, cu atît mai mult pînă la stelele fixe, ca fiind un punct sau o infinitezimală, deoarece stelele s-ar mișca exact în același fel dacă Pămîntul ar fi cu adevărat un punct indivizibil... Tot astfel și pentru geometrie este un mare avantaj, cînd împărțim mintal mărimile în părți infinitezimale, adică atît de mici încît le putem socoti drept nimic în comparație cu aceste mărimi"[2].

Acest punct de vedere nu i-a satisfăcut pe matematicieni; ei tindeau către rigurozitatea fundamentelor analizei. Euler considera infinitezimalele absolut egale cu zero, admițînd că zerourile se pot afla în anumite

[1] Citat după articolul lui S. I. Lurie, *Euler și „calculul zerourilor"*, în culegerea: „Leonard Euler", ed. în l. rusă, M.—L., 1935, p. 59.

[2] *Ibidem*, p. 60.

relații unele cu altele. Atribuirea unei extensiuni infinitezimalelor — adică renunțarea la conceperea lor drept zerouri și ignorarea concomitentă a întinderii lor, respectiv egalizarea infinitezimalelor cu zero pe baza referirii la lipsa de importanță practică a întinderii lor — este un punct de vedere pe care Euler îl considera o transformare ilegitimă a analizei într-o teorie care nu duce la rezultate precise, ci aproximative.

Ideea fizică a lui Leibniz — profundă, strălucită și orientată spre viitor despre ierarhia părților discrete ale substanței care sînt, fiecare, incomparabile ca mărime cu cea care le cuprinde — nu putea să conducă la un criteriu de esențialitate riguros obiectiv, la eliminarea ignorării arbitrare, subiective, nerezultate univoc din relații obiective, a întinderii infinitezimalelor. Pentru aceasta era nevoie de noțiunea formelor specifice de mișcare și de noțiunea legilor naturale, calitativ diferite, ireductibile una la alta, adică de noțiuni științifice pe care nu le puteau avea nici secolul al XVII-lea, nici secolul al XVIII-lea. Era încă departe pînă la reprezentarea caracterului obiectiv al calculelor aproximative, al preciziei lor pentru anumite sfere de probleme. Totodată, la Leibniz a existat o tendință — de astă dată nu fizică, ci metafizică în toate privințele — care îl împingea spre noțiunea unor infinitezimale lipsite, în sens absolut, de întindere. Această tendință rezulta din reprezentarea entităților neîntinse — monadele — și din reprezentarea întinderii ca o categorie secundară, nesubstanțială. Leibniz nu a vrut să pună semnul de egalitate între monadă și diferențială. Acest lucru l-a făcut Christian Wolff, care a declarat că orice mărime cu întindere constă din entități fără extensiune, din diferențiale infinitezimale. Prin aceasta, analiza infinitezimală a devenit vulnerabilă pentru vechea aporie: nu se poate alcătui o mărime întinsă din altele lipsite de întindere, nu se poate obține o mărime nenulă adunînd zerouri. Afirmația că monadele ar fi entități gînditoare nu suprimă aporia. Euler scrie: „Fie monadele spirite. Mai multe spirite luate împreună pot constitui o societate, o întrunire, un consiliu, un senat, dar nicidecum o întindere"[1].

[1] S. I. Lurie, *op. cit.*, p. 65.

În 1712—1714 Leibniz s-a apropiat de atomismul matematic, de reprezentarea unor puncte lipsite de întindere din care sînt constituite mărimi cu întindere. Această reprezentare se îmbina cu ideea mărimilor întinse, a căror întindere poate fi ignorată. Leibniz introduce două noțiuni: „infinitezimală relativă" și „infinitezimală absolută".

Prima este noțiunea [infinitezimala relativă] pe care o cunoaștem acum: „și dacă vom compara finitul, infinitul și infinitul de ordinul al doilea, este același lucru ca și cum am compara în ordine ascendentă diametrul unui fir de nisip, diametrul Pămîntului și diametrul orbitei stelelor fixe ... În același sens și în ordine coborîtoare, diametrul orbitei stelelor fixe, diametrul Pămîntului și diametrul unui fir de nisip se pot compara cu numărul finit, infinitezimala și infinitezimala de ordinul al doilea"[1].

A doua noțiune — „infinitezimala absolută" — se apropie de monadă. Însă Leibniz este o minte prea dialectică pentru a identifica „infinitezimala absolută" cu monada; el spune că „infinitezimala absolută" nu diferă ca întindere de zero și remarcă imediat că în acest punct se produce „un salt spre rezultatul definitiv", care conduce „numai la o expresie acceptabilă, nu însă corectă"[2]. Leibniz își dă seama că în această problemă cuvintele care exprimă *starea* nu pot exprima esența însăși a *procesului*. „Gîndirea noastră își pierde suplețea pentru că trebuie exprimată prin cuvinte"[3]. Leibniz înclină către ideea după care „infinitezimala absolută" este limita unui șir infinit de infinitezimale avînd un ordin din ce în ce mai înalt.

Trebuie relevat că la Leibniz, paralel cu interpretarea infinitezimalelor ca mărimi constante neglijabil de mici, a existat și ideea de limită, într-o formă neevoluată: „principiul de continuitate", introdus de Leibniz, admitea trecerea de la rapoartele dintre mărimile variabile la rapoartele-limită.

Oricum, ideile își au soarta lor și „infinitezimalele absolute" ale lui Leibniz au devenit pentru gînditorii

---

[1] S. I. Lurie, *op. cit.*, p. 62.
[2] *Ibidem.*
[3] *Ibidem.*

curentului leibnizian-wolffian echivalenți matematici ai centrelor de forțe fără întindere. Cît privește infinitezimalele cu întindere, care sînt socotite egale cu zero în virtutea faptului că sînt incomensurabile cu infinitezimalele de ordin superior, această concepție nu coincide cu atomismul matematic (infinitezimalele sînt zerouri) și, cu atît mai puțin, cu ideea de limită (infinitezimalele sînt variabile care tind către zero). Aici infinitezimala este o mărime finită, ale cărei dimensiuni sînt neglijabile.

Ce înseamnă criteriul de esențialitate, pe care nu l-am mai întîlnit în istoria tabloului lumii? Îl putem considera oare drept un criteriu obiectiv?

Deosebirea dintre mărimile esențiale și cele neesențiale capătă, după cum am mai spus, un caracter obiectiv, dacă ținem seama de deosebirea obiectivă dintre legile care guvernează corpurile de un ordin de mărime și corpurile de un alt ordin de mărime, dacă legile macroscopice se deosebesc de cele microscopice. Atomistica secolului al XIX-lea a conturat tocmai o astfel de ierarhie a legilor. „Noua atomistică se deosebește de toate cele anterioare prin faptul că nu afirmă (abstracție făcînd de dobitoci) că materia este *numai* discontinuă, ci consideră că părțile discontinue de diferite grade (atomii eterului, atomii chimici, masele, corpurile cerești) reprezintă diferite *puncte nodale*, care condiționează diferite moduri de existență *calitative* ale materiei universale . . ."[1].

Printre fragmentele din *Dialectica naturii* există o notă relativ mare, scrisă, după toate probabilitățile, în 1885 și intitulată *Despre prototipurile infinitului matematic în lumea reală*. Aici Engels asociază infinitii mici de diferite ordine și ierarhia părților discrete ale substanței. Molecula „. . . rămîne o mărime infinit de mică față de cea mai mică masă cu care operează mecanica, fizica și chiar chimia"[2]. Totuși, molecula are proprietăți caracteristice pentru un corp macroscopic și reprezintă, în ecuațiile chimice, corpuri macroscopice. „Într-un cuvînt, ea are față de masa respectivă

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, pp. 276–277.
[2] *Ibidem*, p. 250.

aceleaşi proprietăţi ca şi diferenţiala matematică faţă de variabila ei"[1].

Este vorba despre infinitezimalele leibniziene, despre mărimi constante finite, a căror întindere o neglijăm, deoarece ea (spre deosebire de alte proprietăţi ale acestor mărimi) nu este esenţială pentru legile macroscopice. Sistemele stelare, corpurile cereşti, masele pămînteşti, moleculele, atomii sînt prototipurile fizice ale infiniţilor mici de diferite ordine. În orice caz, trebuie să ţinem seama de proprietăţile interne ale infinitezimalei şi să ignorăm întinderea ei. În unele probleme de astronomie putem ignora întinderea corpurilor cereşti, considerînd însă masele lor. În întreaga mecanică noţiunea de punct material înseamnă că ţinem seama de masa unui corp, ignorîndu-i dimensiunile. În chimie putem ignora cîteodată dimensiunile moleculelor, luîndu-le în considerare compoziţia. Ierarhia infinitezimalelor reflectă ierarhia părţilor discrete ale substanţei, care posedă forme de mişcare specifice. Introducerea unor infinitezimale incomparabile de diferite ordine exprimă pe plan cantitativ deosebirea calitativă a formelor de mişcare. Engels consideră incomensurabilitatea cantitativă ca expresie a unor deosebiri calitative care nu pot fi înlăturate pînă la capăt[2].

Echivalentul fizic al versiunii leibniziene a analizei matematice indică o formă cu totul specifică a infinitului actual. El poate fi în principiu numărat. Într-o poezie a lui Derjavin se spune că „o minte înaltă" ar putea număra firele de nisip şi planetele. În practică, această numărătoare este imposibilă şi inutilă. În locul infinitului actual, ale cărui dificultăţi rezultă din imposibilitatea principială a numărătorii, apare mulţimea finită, principial numărabilă şi, cu toate acestea, considerată ca infinit mare, deoarece elementele numărate nu sînt comparabile cu ea şi întrucît comportarea lor este determinată de alte legi decît cele care determină comportarea mulţimii.

Aşadar, versiunea leibniziană a concepţiei infinitezimalelor conţinea o oarecare posibilitate logică a trecerii de la schema dinamică a centrelor de forţe punctuale

[1] F. Engels, *op. cit.*, p. 250.
[2] *Ibidem*, p. 241.

la atomistică, ca ierarhie a unor corpuri cu întindere. Asemenea ideii newtoniene de mărime variabilă tinzînd către o limită, care a croit drum noțiunii de cîmp continuu de forțe, versiunea leibniziană avea un echivalent fizic, posibil pe plan logic. Stabilirea acestor echivalenți este o premisă indispensabilă pentru interpretarea istorică a analizei infinitezimale. Dar posibilitatea logică a deducerii cîmpului continuu și atomisticii din noțiunile matematice ale lui Newton și ale lui Leibniz nu putea, ca atare, să ducă știința înainte nici măcar cu un pas în această direcție. Posibilitatea logică s-a transformat în realitate istorică mult mai tîrziu, după ce au apărut premisele propriu-zis istorice ale noilor reprezentări despre cîmp și ale reprezentărilor atomiste. Una dintre aceste premise a fost acumularea de date experimentale și în genere de cunoștințe empirice, în cadrul sistematicii fenomenologice, care a dominat în știința secolului al XVIII-lea.

CAPITOLUL IX

ŞCOALA NEWTONIAN-LINNÉANĂ

După Newton s-a dezvoltat în ştiinţele naturii un curent care a pus o amprentă adîncă pe epoca ce cuprinde aproape întregul secol al XVIII-lea. Această epocă din dezvoltarea ştiinţei ar putea fi denumită — bineînţeles convenţional — epoca lui Linné.

Cu toate rezervele în privinţa caracterului ei convenţional, această denumire va suscita, probabil, o oarecare nedumerire. Cum poate fi denumit un curent din dezvoltarea *ansamblului* ştiinţelor naturii după numele lui Linné, un gînditor care a exercitat o influenţă foarte puternică asupra botanicii, dar una considerabil mai mică asupra zoologiei, una şi mai mică asupra celorlalte ramuri ale ştiinţei şi care nu a pretins să cuprindă întreaga natură în principii unice, cum au făcut gînditorii din secolul precedent? Întreaga problemă constă în următoarele: orientările dominante ale gîndirii ştiinţifice din secolul al XVIII-lea au fost direcţiile ştiinţelor diferenţiate, iar în acest sens epoca lui Linné este epoca renunţării la schemele universale, care îmbrăţişează întreaga natură, este o epocă de descrieri fenomenologice şi de sistematizare a faptelor acumulate în ramuri ale ştiinţelor care s-au despărţit una de alta. Engels a denumit ştiinţa clasică a secolului al XVIII-lea — ştiinţele naturii „... ale *vechii* şcoli Newton-Linné"[1]. Legătura dintre Newton şi Linné constă în faptul că, pe baza

[1] F. Engels, *op. cit.*, p. 232.

abordării fenomenologice newtoniene a cercetării naturii, s-a dezvoltat în toate domeniile cunoașterii sistematica în calitate de conținut principal al analizei științifice, sistematică ajunsă la o deosebită armonie în clasificarea linnéană a plantelor (1736—1750). Pe baza sistematicii, a descrierii fenomenologice, a clasificării fenomenelor la cutare sau cutare domeniu a fost pregătită știința secolului al XIX-lea, care a rupt limitele rigide dintre regnurile naturii, dintre șirurile de fenomene, dintre specii etc. stabilite de școala Newton-Linné.

În prima jumătate a secolului al XVIII-lea, iar în multe ramuri ale științei și în a doua jumătate a acestui secol, pînă cînd producția și experimentul au pregătit revenirea la explicații cinetice, însă de astă dată univoce, știința a înlocuit adeseori prin sistematizare schema cauzală care urmărea mersul unui proces de la un punct la altul și de la o clipă la alta. Ba, chiar știința a făcut-o prea des. O spiră necesară a cunoașterii a fost absolutizată; gînditorii secolului al XVIII-lea vorbeau despre renunțarea principială la explicația cauzală și au ajuns, în cele din urmă, să se refere la un impuls divin în cosmologie și la creaționism în teoria speciilor de organisme vii.

Ideea fizică, în esență cea mai importantă, a celei de-a doua jumătăți a secolului al XVII-lea — ideea gravitației universale — a substituit sistematica în locul căutărilor unor modele cauzale. De ce cade o piatră pe Pămînt? Teoria lui Newton se referea la atracția Pămîntului, însă, în fond, după cum a observat Meyerson, aceasta însemna doar: piatra cade pe Pămînt pentru că face parte din numărul corpurilor care posedă greutate. Teoria gravitației s-a dezvoltat repede. Schema abstractă a atracției dintre două corpuri a fost completată prin calculul mai complicat al acțiunii perturbatoare a unui al treilea corp; pe această bază a fost construită mecanica cerească, care a prevăzut cu o precizie uluitoare mai multe fenomene cerești. De îndată însă ce venea vorba despre natura fizică a gravitației, problema se reducea, în esență, la sistematizarea unor fapte.

Punctul de plecare al descoperirii legii atracției universale a fost încadrarea în aceeași clasă de fenomene a forței care acționează asupra Lunii și a forței de gravitație pe Pămînt. Accelerația centripetă care sileşte

Luna să rămînă pe orbită a fost asimilată cu greutatea corpurilor de pe Pămînt. De aici se vede la ce creştere gigantică a cunoştinţelor putea să conducă tendinţa de sistematizare. Dar, ea nu dezvăluia imaginea cauzală diferenţială — de la un punct la altul, de la o clipă la alta — a fenomenelor.

Şi în alte domenii ale fizicii s-au răspîndit explicaţiile de tipul: „Firul de pai este atras de sticla frecată, deoarece această sticlă face parte din rîndul corpurilor electrice, caracterizate prin aceea că atrag obiecte uşoare".

Explicaţiile fenomenologice nu depăşeau însă cadrul sistematizării, al grupării şi al introducerii unor denumiri care să exprime această grupare. Ele s-au răspîndit şi s-au dezvoltat paralel cu teoria fluidelor specifice.

Ca exemplu pentru acumularea de date experimentale în legătură cu dezvoltarea teoriei fluidelor imponderabile putem lua teoria electricităţii. În anul 1600, Gilbert (1520—1601) a declarat că proprietatea de a atrage corpuri uşoare nu aparţine numai chihlimbarului, ci şi multor altor corpuri. Acesta a fost primul pas pe calea care a dus la ideea fluidului electric specific. Paşii următori au fost făcuţi în decursul secolelor al XVII-lea şi mai ales al XVIII-lea. La începutul secolului al XVIII-lea, Gray a electrizat conductori şi a pus în evidenţă mişcarea sarcinilor electrice, trecerea lor de la un corp la altul. Trecerea electricităţii de la un corp la altul a arătat că diversele sarcini se pot distruge una pe alta. Astfel, o electricitate s-a dovedit a fi o mărime opusă faţă de cealaltă electricitate. De aici, teoria celor două electricităţi, emisă în 1733 de către Du Fay (1698—1739). Du Fay a explicat numeroase fenomene de atracţie şi respingere între două corpuri prin existenţa celor două electricităţi, în sensul că electricităţile de acelaşi semn se resping, iar cele de semn contrar se atrag.

În perioada 1740—1760, Franklin a emis ideea unui fluid electric unic. Acesta este distribuit neuniform în corpuri: sarcinile pozitive sînt un exces, iar sarcinile negative o insuficienţă de electricitate în comparaţie cu cantitatea normală a acesteia. Electrizarea corpurilor constă în trecerea fluidului electric de la un corp la altul, fapt în urma căruia într-un corp se formează un exces de electricitate, iar în celălalt o insuficienţă. La Franklin

teoria fluidului electric a devenit o teorie fenomenologică, de tipul teoriei newtoniene a gravitației. În locul modelelor în spirit cartezian ale scurgerii fluidului electric din corpuri și în locul ipotezelor complicate despre mecanismul presiunii sale asupra corpurilor ușoare, Franklin a presupus că fluidul electric are proprietățile de atracție și repulsie. Aceste proprietăți sînt considerate drept fundamentale, fără să se pătrundă în aparatul cauzal care determină mișcarea corpului de la un punct la altul și de la un moment la altul. De o natură cu totul diferită a fost concepția lui Lomonosov, propusă la începutul celei de-a doua jumătăți a secolului al XVIII-lea. Ne vom ocupa de ea în capitolul următor.

În prima jumătate și la mijlocul secolului al XVIII-lea, acumularea de date empirice în chimie a avut loc în cadrul teoriei flogisticului. Această teorie a avut o dublă natură. La diverși autori din secolul al XVIII-lea, noțiunea de flogistic însemna uneori un fluid imponderabil specific, avînd proprietatea de a da o flacără atunci cînd se degaja din corpuri (flogisticul astfel conceput era adeseori identificat cu caloricul), alteori, se înțelegea prin flogistic un element ponderabil, conținut, cum se credea, în corpuri și părăsindu-le pe acestea în timpul arderii, iar descompunerea corpului în flogistic și „calciu" fiind pusă în legătură cu modele cinetice ale mișcării atomilor. De aceea, în ansamblul ei, teoria flogisticului nu este atît un exemplu de concepție asupra unui fluid specific, cît un exemplu de evoluție de la această noțiune la reprezentările cinetice.

Trăsătura cea mai caracteristică și mai comună pentru ideile despre fluidele specifice consta în aceea că acestor fluide li se atribuiau proprietăți (sau „forțe") fenomenologice, fără ca acestea să fie descifrate sub aspect cinetic. În forma pură, această tendință a apărut rar, și numai în comediile lui Molière se putea întîlni afirmația directă de tipul lui „opiul adoarme pentru că există în el o putere adormitoare". Satira lui Molière se referea la peripateticienii secolului al XVII-lea, pentru care forțele specifice aveau un alt sens, cîtuși de puțin fenomenologic. Însă în secolul al XVIII-lea, referirile la fluidele specifice și la proprietățile lor specifice apăreau, de asemenea, drept o explicație pur verbală a fenomenelor. Acesta este felul în care teoria fluidelor spe-

cifice a fost apreciată de către partizanii ideilor cinetice, care, treptat — pe măsură ce se acumulau date certe — își cucereau din nou anumite poziții în fizică.

Descrierea fenomenologică, în forma ei cea mai pură, a existat în teoria gravitației, unde modelele cinetice nu dădeau rezultate pozitive, iar apoi în biologie, unde explicația mecanică se lovea de dificultăți deosebite, iar folosirea microscopului a mărit într-o foarte mare măsură volumul materialului ce aștepta o triere inițială, o clasificare și o descriere.

Pentru primele utilizări ale microscopului sînt caracteristice lucrările lui Hooke (1635—1703), care a creat o enciclopedie lipsită de sistem, însă îmbrățișînd o mare sferă de fenomene ale lumii noi, dezvăluită oamenilor după crearea microscopului. În anul 1667 a apărut cartea lui Hooke *Micrografia sau o anumită descriere fiziologică a celor mai mici corpuri, cu ajutorul sticlelor măritoare.* În studiul naturii, Hooke mai seamănă cu un om ce vede pentru prima dată un microscop și care, avînd la îndemînă această nouă unealtă, năzuiește să examineze cu ajutorul ei orice obiecte, fără a-și pune deocamdată sarcini precise de cunoaștere. Hooke așază în fața obiectivului microscopului vîrfuri de metal, fire, țesături, nisip, cristale, mucegai, fibre de urzici, picioare de păianjen, trompe de albină, părți ale unor plante. Apoi, el descrie amănunțit și plastic toate aceste obiecte. Este abia primul rezultat al descoperirii microscopului. Dar pînă la folosirea sistematică a microscopului în rezolvarea problemelor noi care apar una după alta în fața științei mai este mult. Însă observațiile microscopice, chiar și lipsite de sistematizare, au condus la descoperiri importante. Examinînd diverse părți ale plantelor — tulpini de turiță-mare *(Agrimonia)*, puf de papură, lemn etc. — Hooke a ajuns la preparate în care putea distinge structura celulară a substanței vii. Structura celulară a fost pusă în evidență în modul cel mai clar cînd Hooke a examinat o bucățică de plută.

Descoperirile cele mai mari făcute cu ajutorul microscopului îi aparțin lui Anton Leeuwenhoeck (1632—1723). În șapte decenii de activitate creatoare, el a făcut un număr colosal de observații empirice și de experimente cu ajutorul microscopului.

Cartea lui Leeuwenhoeck, *Tainele naturii dezvăluite cu ajutorul microscopului,* este formată dintr-un mare număr de scrisori, tipărite mai întîi în „Philosophical Transactions". Scrisorile nu sînt aranjate într-o succesiune logică, de altfel și conținutul fiecăreia dintre ele este format din materialul cel mai variat. Într-o scrisoare este descrisă compoziția prafului, și tot în ea se vorbește despre fiziologia plantelor, despre precipitatele din vin, despre circulația sîngelui, despre viața insectelor etc. Într-o altă scrisoare, Leeuwenhoeck trece de la analiza cristalelor la descrierea unor organe ale insectelor observate la microscop, apoi și la alte obiecte tot atît de surprinzătoare.

Dintre observațiile lui Leeuwenhoeck, una l-a entuziasmat în mod deosebit: era observarea rețelei capilare, care unește venele cu arterele. Leeuwenhoeck a examinat aripioarele unor pești tineri și membrane ale aripilor de liliac. În toate descrierile lui Leeuwenhoeck se simte un mare interes pentru noi date asupra naturii. Ne putem imagina ce impresie i-a produs posibilitatea de a observa direct circulația sanguină, descoperită în perioada respectivă.

În 1675, Leeuwenhoeck a hotărît să vadă la microscop o picătură de apă de ploaie, care stătuse timp de o săptămînă într-un butoi. În această picătură el a descoperit o sumedenie de ființe vii care se mișcau repede. Leeuwenhoeck a examinat atunci la microscop o picătură de apă în care putreziseră timp îndelungat resturi de fîn, descoperind și aici mici ființe vii. În sfîrșit, Leeuwenhoeck a examinat la microscop reziduuri luate de pe gingie. „Și am văzut, spre marea mea surprindere — scrie Leeuwenhoeck — că în aceste reziduuri cu salivă se aflau făpturi minuscule, caracterizate printr-o neobișnuită mobilitate". Astfel au fost descoperite microorganismele.

Lucrările lui Leeuwenhoeck și ale celorlalți microscopiști din secolele al XVII-lea—al XVIII-lea nu se bazau numai pe descoperirea și pe perfecționarea microscopului, ci și pe o nouă metodologie a investigațiilor microscopice. Cel mai mare reprezentant al acesteia a fost Swammerdam (1637—1685).

Swammerdam este autorul unei serii de metode noi de cercetare anatomică. El a creat metoda injectărilor.

Această metodă constă în aceea că vasele subțiri se umplu cu lichide colorate sau cu substanțe care se solidifică ușor. Datorită injectării, vasele greu de distins cu ochiul liber pot fi separate de organism, studiindu-se astfel structura anatomică a celor mai mici elemente ale lor. Swammerdam a creat un mare număr de instrumente fine pentru prepararea spre examinare a insectelor și a altor animale mici. El ascuțea aceste instrumente, ținîndu-le sub sticle măritoare.

Deosebitul spirit de observație, inventivitatea și perseverența cu care Swammerdam cerceta literalmente luni de-a rîndul organe de dimensiuni infime ale unei insecte au avut o importanță istorică pentru știința de la jumătatea secolului al XVII-lea. Microscopul nu ar fi putut determina o cotitură în cercetările biologice dacă nu ar fi fost creată o tehnică de preparare, dacă nu s-ar fi dezvoltat trăsăturile de minuțiozitate scrupuloasă a observațiilor, specifice pentru știința modernă care a permis să fie descoperite noi domenii de fenomene ale naturii.

Cercetările microscopice au dus la o idee amănunțită asupra structurii și funcțiunilor organismelor și ale diverselor lor organe. Principala sarcină a științei consta în aplicarea acestor date anatomice și fiziologice la ordonarea impresionantului material empiric strîns de botaniști și de zoologi. Materialul acesta se înmulțea cu o repeziciune imensă. Ce se putea pune la baza acestei sistematizări? O clasificare naturală, care să pornească de la întregul ansamblu al organelor în realizarea unei sistematizări a plantelor și animalelor efectiv apropiate după caracterele lor principale, nu avea încă o bază suficientă. O apropiere formală, nelegată de înrudirea reală a speciilor, se putea face pe baza unui anumit caracter, ales într-un mod mai mult sau mai puțin arbitrar. O astfel de sistematizare artificială corespundea nivelului cunoștințelor empirice. Observațiile microscopice nu oferiseră încă tabloul anatomic și fiziologic complet al tuturor organelor principale ale animalelor și ale plantelor. Organele de înmulțire la plante erau studiate mai mult și mai bine decît altele, fapt pentru care era cel mai bine elaborată și cea mai adecvată, practic, o clasificare artificială a plantelor, pe baza caracterelor legate de înmulțire. Această clasificare, ajunsă la o

largă răspîndire, fiind totodată caracteristică pentru întreaga știință a secolelor al XVII-lea—al XVIII-lea și făcînd bilanțul cunoștințelor biologice ale acelui timp, a fost creată de Linné (1707—1778).

Găsim la Linné nu numai o clasificare a plantelor, ci și a botaniștilor, fapt care este caracteristic pentru orientarea gîndirii acestui savant. Linné îi denumește pe botaniști „fitologi" și îi împarte în două mari subdiviziuni: *Botanici* — botaniștii propriu-ziși și *Botanophili* — botaniștii amatori.

Primii *(Botanici)* erau împărțiți, la rîndul lor, în două subgrupe: *Collectores* (cei ce adună plantele) și *Methodici* (metodiști). Urmează apoi delimitările mai amănunțite ale celor dintîi și ale celor din urmă. Astfel, *Collectores* — cei ce adună plantele — se împart în următoarele categorii: 1) *Patres* — cei ce au pus bazele adunării plantelor; 2) *Commentatores* — cei ce comentează pe *Patres;* 3) *Iconiographi* — cei ce desenează plante; 4) *Adonides* — cei ce adună plante exotice ș.a.m.d. Metodiștii *(Methodici)* se împart în: 1) *Philosophi* — filozofii, care discută și comentează teme de botanică; 2) *Systematici* — sistematicienii; 3) *Nomenclatores* — cei ce dau denumiri plantelor etc. Fiecare dintre aceste subdiviziuni se împarte, la rîndul ei, în altele mai mici. Filozofii se împart în: 1) *Oratores* — oratorii, cei care popularizează cunoștințele de botanică; 2) *Eristici* — cei care iau parte la dispute; 3) *Physiologi* — cei care studiază problema sexului la plante; 4) *Institutores* — savanții care stabilesc legile fundamentale ale metodologiei botanicii.

Fiecare dintre aceste grupuri se subîmparte în grupuri mai mici. Să ne oprim asupra sistematicienilor. Linné îi împarte pe sistematicieni în următoarele patru grupe, după principiile pe care le adoptă în clasificarea plantelor: 1) *Fructistae* — savanții care clasifică plantele după fructe; 2) *Corollistae* — cei care clasifică plantele după corolă; 3) *Calicistae* — cei care clasifică plantele după caliciu; 4) *Sexualistae* — cei care clasifică plantele după organele de reproducere: staminele și pistilul.

Așa se clasifică botaniștii. Botanofilii se împart în anatomiști, horticultori, medici, teologi și poeți care scriu despre plante. În sfîrșit, aici mai intră o grupă de savanți pe care Linné îi denumește biologi. Constatăm

că este vorba despre istorici, „care descriu viața și moartea autorilor ce s-au ocupat de botanică".

Sistematica îi apare lui Linné drept principalul scop al științei. „Obiectele se deosebesc și se cunosc — scrie el — cu ajutorul împărțirii lor metodice și al denumirii adecvate. De aceea, diviziunea și denumirea constituie fundamentul cunoașterii noastre".

Clasificarea plantelor, pe baza caracterelor sexuale, propusă de Linné, împarte plantele în fanerogame și în criptogame. Ele împarte fanerogamele în douăzeci și trei de clase. În primul rînd, Linné împarte plantele cu stamine libere de lungime nedeterminată în treisprezece clase, după numărul de stamine. Clasele a douăsprezecea și a treisprezecea coincid cu familii ale sistemului natural: a douăsprezecea — cu plantele din familia migdalului, a mărului și a trandafirului, iar a treisprezecea — cu papaveraceele și cu ranunculaceele. Mai departe, Linné stabilește două clase de plante cu stamine de lungime diferită. Clasa a paisprezecea *(Didynamia)* cuprinde plantele cu patru stamine, dintre care două sînt mai lungi decît celelalte, iar clasa a cincisprezecea — plantele cu șase stamine, dintre care patru stamine scurte și două lungi. Această din urmă clasă coincide cu familia cruciferelor. Linné distinge apoi cîteva clase la care staminele sînt concrescute într-unul, două sau mai multe fascicule, și altele la care, fie că sînt concrescute anterele, fie stilele. Următoarele trei clase sînt fanerogame monoice la care florile masculine și cele feminine se află pe aceeași plantă, pe plante diferite (dioice) sau cu florile în parte hermafrodite, în parte cu sexe separate. Clasa a douăzeci și patra cuprinde plantele fără stamine și pistil. Linné a clasificat aici algele, ciupercile, mușchii și ferigile.

Sistemul lui Linné a cuprins un număr imens de plante pe care le-a descris. După 1760, Linné număra în listele sale aproape nouă mii de plante diferite.

Clasificarea linnéană a animalelor a avut un caracter mai puțin artificial decît cea a plantelor, dar a fost considerabil mai superficială, mai ales pentru animalele inferioare, deoarece Linné nu a recurs aproape de loc la cercetări microscopice.

Linné împarte animalele în șase clase: 1) patrupede, 2) păsări, 3) amfibii, 4) pești, 5) insecte și 6) viermi. În afară de acestea, Linné vorbește și despre „haos" — o mulțime de animale nerepartizate între clasele enumerate.

Să ne ocupăm de noțiunile fundamentale ale sistematicii linnéene. Prima noțiune este cea de specie. După Linné, specia constă din organisme asemănătoare, care puteau proveni din aceeași pereche. Așadar, specia este un grup de indivizi cu caractere imuabile, care repetă perechea inițială. De aici, formula: există atîtea specii cîte a creat la început Dumnezeu. Speciile se reunesc în genuri. Genurile asemănătoare se reunesc în încrengături, din care sînt constituite clasele. Clasa este un ansamblu de încrengături asemănătoare între ele după alcătuirea organelor de înmulțire.

Mai trebuie menționat că la Linné, paralel cu aceste formulări categorice ale invariabilității speciilor organice, apar observații care anticipează punctul de vedere opus. Între 1750 și 1760, el scrie despre unele specii asemănătoare, că toate au provenit cîndva din aceeași specie. El era încredințat că, în viitor, știința va găsi mecanismul transformării unei specii în alta.

Alcătuind o clasificare artificială a plantelor și animalelor, Linné menționează că aceasta nu reprezintă decît primul pas spre stabilirea unei clasificări naturale. El prevede că această clasificare stabilită va fi apoi înlocuită cu alta. Linné nu dispunea însă de suficiente date despre structura și funcțiunile organismelor pentru a stabili cu certitudine legătura lor naturală și delimitările naturale ale diverselor specii. El s-a mărginit la construcții ipotetice. „Nu pot da o întemeiere ordinelor mele naturale — scrie Linné —, dar cei care vor veni după mine vor descoperi aceste întemeieri și se vor convinge că am avut dreptate".

Pentru Linné, ca și pentru Newton, sînt caracteristice lipsa de claritate și lipsa de siguranță ale concepției despre o natură imuabilă, care conduce (în condițiile ignorării problemelor filogenezei și a problemelor cosmogonice) la ideea unei creații inițiale a speciilor astăzi existente și la ideea unui impuls prim care a comunicat planetelor actualele lor viteze tangențiale. Concluziile creațio-

niste nete nu aparţin creatorilor şcolii newtonian-linnéene, ci epigonilor ei. În creaţia lui Newton sînt conţinute nu numai izvoarele „impulsului prim", ci şi izvoarele ideilor cosmogonice evoluţioniste, cu concluziile lor anticreaţioniste, iar în creaţia lui Linné — izvoarele reprezentărilor biologice evoluţioniste. Aceste izvoare sînt legate însă de ideile evoluţioniste într-un mod implicit. Ele pornesc de la Newton, prin elaborarea matematică abstractă a mecanicii cereşti, şi de la Linné, prin acumularea de date empirice care permit să se treacă cu o tot mai mare întemeiere de la o clasificare artificială la una naturală şi la ideea dezvoltării lumii organice.

CAPITOLUL X

DETERMINISMUL MECANICIST AL SECOLULUI AL XVIII-LEA

Savanții de la mijlocul și din a doua jumătate a secolului al XVIII-lea s-au deosebit de cei din generația precedentă nu numai prin cantitatea considerabil mai mare a cunoștințelor, ci și printr-un tip cu totul nou de gîndire științifică. Contemporanii lui Leibniz îmbinau cercetările științifice cu construcții teologice și acest lucru părea normal. Generația următoare, în persoana lui Voltaire (1694—1778), a răspuns la încercările de interpretare teologică a științei printr-un sarcasm veninos, datorită căruia s-au păstrat în memoria posterității unele detalii ale controverselor științifice (de exemplu, celebra replică „Diatriba doctorului Acachie" a lui Voltaire la interpretarea teologică dată de Maupertuis principiului minimei acțiuni).

Încă la începutul secolului, științele naturii au rupt legătura exterioară, în esență fictivă, cu meditațiile metafizice pe teme teologice. În a doua jumătate a secolului, savanții au trecut la atacuri directe împotriva bisericii. La aceste atacuri nu participau nici pe departe toți savanții; participanții erau mai curînd o minoritate, dar tocmai această minoritate determina pe atunci funcțiunea socială a științei. Unii gînditori din secolul al XVIII-lea nu s-au ocupat de problemele religioase, însă manifestînd față de aceste probleme o pronunțată indiferență, o asemenea atitudine acționa uneori asupra minții contemporanilor aproape tot atîta cît și atacurile directe la adresa autorității ecleziastice. Sus-amintita

replică a lui Laplace (1749—1827) la reproşul lui Napoleon este caracteristică atît pentru generaţia lui Laplace, cît şi pentru contemporanii săi mai vîrstnici. Savanţii zugrăveau un tablou universal al lumii în care efectiv nu mai rămînea loc pentru divinitate. Totodată, tabloul era univoc, precis, admiţînd verificarea experimentală şi practică şi rezistîndu-i cu succes. După ce şi-a însuşit univocitatea newtoniană, ştiinţa a continuat să urmeze vechea explicaţie carteziană a naturii, iar determinismul absolut al lumii, care li se înfăţişa oamenilor în lucrările savanţilor din secolul al XVIII-lea, i-a dat religiei o asemenea lovitură, încît nu a mai putut să-şi revină niciodată de pe urma ei.

În acest sens, ştiinţa secolului al XVIII-lea a fost o parte din marele progres care s-a înregistrat între revoluţia engleză de la jumătatea secolului al XVII-lea şi revoluţia franceză de la sfîrşitul secolului al XVIII-lea.

Ambele revoluţii au fost jaloane în istoria tuturor ţărilor Europei. „Revoluţiile din 1648 şi 1789 nu au constituit o revoluţie *engleză* şi una *franceză;* ele au fost revoluţii pe scară *europeană*. Ele nu au constituit victoria unei *anumite* clase a societăţii asupra *vechii orînduiri politice,* ci *au proclamat orînduirea politică a noii societăţi europene*. În aceste revoluţii burghezia a ieşit biruitoare; dar *victoria burgheziei* a însemnat atunci *victoria unei noi orînduiri sociale,* victoria proprietăţii burgheze asupra celei feudale, a naţiunii asupra provincialismului, a concurenţei asupra sistemului breslelor, a fărîmiţării proprietăţii asupra dreptului de primogenitură, a dominaţiei proprietarului funciar asupra supunerii proprietarului de către pămînt, a raţiunii asupra superstiţiei, a familiei asupra numelui de familie, a industriei asupra trîndăviei eroice, a dreptului burghez asupra privilegiilor medievale . . . Aceste revoluţii exprimau în mai mare măsură cerinţele, din acea vreme, ale întregii lumi decît cerinţele acelor părţi din lume în care au avut loc, adică ale Angliei şi Franţei"[1].

---

[1] Karl Marx—Friedrich Engels, *Opere*, vol. 6, Editura Politică, Bucureşti, 1959, pp. 117—118.

După cum spune Jaurès, primul eveniment al Revoluției Franceze a fost invenția mașinii lui Arkwright. În adevăr, revoluția industrială s-a dovedit a fi importantă parte componentă a transformărilor sociale care au condus la Revoluția Franceză. Premisa ideologică a revoluției a fost victoria rațiunii asupra superstiției. Iar știința a jucat un rol primordial atît în premisele materiale ale revoluției, cît și în cele spirituale. Engels spune că știința secolului al XVIII-lea, îmbinată cu filozofia, a devenit izvor al materialismului, al iluminismului, al Revoluției Franceze, iar rezultatul aplicării ei în practică a fost revoluția socială din Anglia[1].

Mecanica lui Newton, din care se urmărea în Anglia să se facă un sprijin al teologiei, a luat un caracter vădit antiteologic pe continent, mai ales în Franța, unde lupta socială era extrem de încordată și unde noua clasă înainta spre putere sub stindardul unei libere cugetări pline de bucuria vieții. Voltaire a răspîndit în Franța doctrina newtoniană, a expus-o în *Scrisorile filozofice*, arse de mîna călăului în 1734, precum și în *Elementele filozofiei lui Newton*. Marchiza du Châtelet, prietenă a lui Voltaire, a tradus în limba franceză *Principiile matematice ale filozofiei naturale*.

Dar nu deistul Voltaire este cel care i-a luat doctrinei newtoniene anexele teologice. Aceasta au făcut-o materialiștii secolului al XVIII-lea. Ei au sintetizat noțiunile dinamicii newtoniene cu principiile generale ale fizicii carteziene. În articolele lui D'Alembert din *Enciclopedie* (1717—1783), în lucrările lui La Mettrie (1709—1751) și ale lui Diderot (1713—1784) au fost date elementele noii imagini despre lume. În această imagine, la fel ca și în fizica lui Descartes, nu există nimic în afară de materie în mișcare. Însă materia în mișcare nu este identică cu spațiul, ea fiind constituită din atomi care se deplasează în vid și au proprietăți dinamice. Mișcarea este indestructibilă, ea trece dintr-o formă mecanică în alta, din ceea ce Leibniz denumea „forță vie", în ceea ce denumea „forță moartă", adică, după cum am spune astăzi, din forma cinetică în cea potențială. Diderot spune despre conservarea forțelor vii și moarte: „Cu cît este mai mare suma forțelor moarte, cu atît este mai

[1] Karl Marx—Friedrich Engels, *Opere*, vol. 1., E.S.P.L.P., București, 1957, p. 609.

mică suma forțelor vii, și invers, cu cît este mai mare suma forțelor vii, cu atît este mai mică suma forțelor moarte".

Întreaga natura formează la Diderot și la ceilalți enciclopediști un sistem unic, fără salt de la substanța anorganică la ceea organică. Enciclopediștii, între care și Diderot, erau adepți ai ideii potrivit căreia organismul viu a fost creat din elemente anorganice. Ei s-au străduit să găsească mecanismul cauzal al trecerii treptate de la natura moartă la cele dintîi ființe vii, iar apoi la organismul diferențiat și din ce în ce mai perfect. Diderot a văzut acest mecanism cauzal în exersarea organelor, exersare care modifică organele în conformitate cu funcțiunile lor. Aceste modificări se moștenesc și se acumulează.

Articolele științifice publicate în volumele *Enciclopediei* (1751—1772) dau o reprezentare unică asupra naturii, caracterizată prin sinteza cinetismului cartezian și a reprezentărilor noi, inspirate de mecanica newtoniană, despre proprietățile dinamice ale substanței care o deosebesc de spațiu. În articolele *Enciclopediei* întîlnim ideile atomisticii și ale conservării substanței și mișcării, ideea legilor mecanice care determină poziția unei particule mobile în fiecare punct și la fiecare moment, precum și unele concepții evolutive: un tablou al evoluției substanței, Universului și a vieții pe Pămînt.

Legătura dintre tabloul lumii cuprins în *Enciclopedie* și pregătirea ideologică a Revoluției Franceze este vădită. Lupta materialiștilor francezi împotriva teologiei s-a bazat pe un tablou mecanic al lumii care nu lăsa loc pentru o substanță imaterială. O dată cu aceasta, cădea și întregul sistem de justificare ideologică a vechii orînduiri sociale.

Consulatul, Imperiul și chiar Restaurația nu au mai fost în stare să oprească dezvoltarea gîndirii științifice care căpătase un puternic impuls în perioada prerevoluționară și în anii dictaturii iacobine. Dezvoltarea industriei datorită condițiilor blocadei continentale, revoluția industrială, cerințele armatei și ale flotei, toate stimulau înaintarea științei și conduceau la dezvoltarea continuă a tabloului mecanic al lumii.

Din cînd în cînd, în știință acționau cu precădere forțe de dezvoltare legate de revoluția industrială în sens în-

gust, adică numai în ce privește construirea unor mașini, întîi în industria textilă (mașini de filat și de țesut), apoi și în celelalte ramuri ale industriei mașinizate, care lua naștere pe atunci. Mecanismele descompuneau producția în operații mecanice elementare, legate una de alta. Astfel, producția, transformată de revoluția industrială, îi oferea științei un nou cadru cauzal: succesiunea unor procese mecanice care pot fi determinate în fiecare punct și la fiecare moment. Explicînd fenomenele fizice și chimice cu ajutorul acestui cadru cauzal, savanții secolului al XVIII-lea au ajuns la ideile atomisticii, ale conservării substanței și mișcării. Extinzînd această schemă cauzală la problemele mișcării corpurilor cerești, ei au căpătat un sistem cosmologic care era confirmat cu multă precizie de observațiile astronomice. Spre deosebire de sistemele cosmologice, concepțiile mecanice asupra formării și dezvoltării Universului, sistemului solar, Pămîntului și scoarței terestre erau cu totul fanteziste, dat fiind nivelul redus din acea perioadă al cunoștințelor de astrofizică și de geologie. Aplicarea unei scheme cauzale mecaniciste la problemele vieții i-a îndrumat pe savanții secolului al XVIII-lea spre ipoteze mecanice asupra ontogenezei și le-a sugerat ideea că exersarea organelor ar fi cauza variabilității speciilor organice.

Dacă avem în vedere curentele gîndirii științifice din secolul al XVIII-lea, care erau mai apropiate de modelele cinetice carteziene (deosebindu-se de ele prin noile noțiuni dinamice), trebuie să amintim în primul rînd atomistica. Evoluția ei în secolele al XVII-lea și al XVIII-lea a fost de la început legată de sinteza ideilor cinetice și a celor dinamice. Concepțiile cinetice tindeau să explice prin mișcarea corpurilor întregul ansamblu de fenomene ale naturii. Însă această mișcare și însăși existența corpurilor individuale puteau avea sens numai în cazul în care corpurile erau opuse spațiului, deosebindu-se de acesta prin proprietățile lor dinamice.

Gassendi (1592—1655) a opus spațiului plin al lui Descartes tabloul atomist antic al lumii, în care atomii se mișcă în vid. Ei nu sînt părți ale spațiului. „Dacă Dumnezeu ar transporta lumea într-un alt loc, spațiul nu ar urma lumea..."[1] Volumele spațiale pot fi făcute să

[1] P. Gassendi, *Opera, Batavorum*, 1658, vol. I, p. 183.

coincidă fără piedici cu volumele substanței. Oriunde există un volum de substanță, găsim totodată un volum spațial imaterial, identic cu el. Atomii nu variază, orice schimbare din natură se reduce la o regrupare a atomilor imuabili. Aceștia au forme diferite. Gassendi n-a adăugat nimic esențial la concepțiile lui Epicur. Importanța sa pentru știință este determinată de reînvierea atomisticii antice și de opunerea ei tradiției aristotelice.

Generația următoare a căutat, în persoana lui Boyle (1627—1691), să rezolve problemele fundamentale ale chimiei cu ajutorul atomisticii renăscute. Boyle invocă forma atomilor și deplasările lor pentru a explica descompunerea și sinteza substanțelor chimice compuse.

În comparație cu epoca lui Boyle, secolul al XVIII-lea a furnizat incomparabil mai multe date fizice și chimice pentru crearea unei teorii atomiste, venind totodată cu noi cerințe față de o astfel de teorie: cerința de univocitate, de întemeiere exprimentală, de determinare cantitativă. Cea mai cuprinzătoare teorie atomistă a secolului al XVIII-lea a fost cea a lui Lomonosov, care a îmbrățișat aproape toate problemele principale ale fizicii și ale chimiei, înglobînd și anumite puncte de vedere din problemele geologiei și ale mai multor ramuri din științele naturii.

Concepția despre lume a lui Lomonosov se situează pe linia principală a dezvoltării științei mondiale dintre revoluția engleză și cea franceză. În ea și-au găsit expresia tendințe ca: măsurătorile precise, experimentul cantitativ, îmbinarea noțiunilor cinetice cu cele dinamice, aspirația către un tablou universal, consecvent mecanic și totodată univoc al lumii, care să nu lase loc lui Dumnezeu. În același timp, în creația lui Lomonosov s-au reflectat condițiile dezvoltării științei ruse în secolul al XVIII-lea: apariția unor mari manufacturi, mine și șantiere navale (între care, de exemplu, și șantierul de la Vavciujsk, în apropierea căruia a crescut Lomonosov), dezvoltarea foarte rapidă a flotei, studierea sistematică, organizată de stat a resurselor naturale ale unei țări imense, introducerea științei experimentale, lupta încordată a lui Petru I pentru progresul cultural și tehnic, slăbirea pronunțată a pozițiilor bisericii.

Lomonosov s-a născut pe țărmul relativ civilizat al Mării Albe, a studiat la Academia Zaikonospas de la

Moscova, apoi, între anii 1737 și 1739, a fost elevul lui Christian Wolff, la Marburg, iar între 1741 și 1765, colaborator activ al Academiei de Științe de la Petersburg și conducătorul laboratorului de chimie de aici. El este creatorul industriei mozaicului din Rusia, autorul unor lucrări clasice consacrate căldurii, electricității, luminii, al unor tratate de chimie-fizică, geologie, tehnologie, navigație, economie, istorie, estetică și gramatică, unul dintre gînditorii cei mai multilaterali și cel mai mare poet rus al epocii sale. Lomonosov s-a apucat să creeze un tablou atomist al lumii imediat după 1740. Punctul de plecare al noțiunii de atom la Lomonosov a fost critica ideii leibnizian-wolffiene despre entitățile fără întindere din care sînt constituite corpurile cu extensiune. Lomonosov nu putea fi de acord cu concepția potrivit căreia întinderea corpurilor are un caracter secundar, ea fiind dedusă, ca atare, din existența unor entități lipsite de întindere. Lomonosov a considerat că întinderea este proprietatea fundamentală a corpurilor și nu putem căuta baza acestei proprietăți, nu o putem deduce din altele. „Temeiul filozofic, denumit rațiune suficientă, nu se extinde pînă la proprietățile necesare ale corpurilor. De la folosirea greșită a acesteia, s-a ivit faimoasa controversă din lumea învățaților cu privire la entitățile simple, adică la particulele care nu au nici un fel de întindere. O dată ce întinderea este o proprietate neapărat necesară a corpului, fără de care acesta nu poate fi corp, iar în întindere stă aproape întreaga putere a definiției corpului, este zadarnică problema ca și controversa despre particulele fără întindere ale unui corp întins: căci, în acest caz, trebuie să căutăm demonstrații ale definiției, în loc să deducem, cum se obișnuiește, după buna rînduială, demonstrațiile din definiții"[1].

Sarcina științei este de a reduce proprietățile calitative ale corpurilor la proprietăți cantitative. În acest scop este indispensabilă ideea celor mai mici elemente cu extensiune ale substanței. Lomonosov denumește aceste elemente „particule insensibile", iar uneori „monade fizice". Această din urmă denumire caracterizează atitudinea atomisticii lui Lomonosov față de con-

[1] M. V. Lomonosov, *Opere complete*, vol. III, 1952, p. 358 (ed. rusă).

cepția lui Leibniz. Lomonosov nu putea fi de acord cu ideea unor elemente fără întindere ale substanței, idee care era legată într-un mod complicat, dar incontestabil, de monadologie. Lomonosov se străduiește să dea monadelor un sens fizic („monade fizice") și le atribuie întindere.

Cît privește forma atomilor, Lomonosov, spre deosebire de Boyle, a fost foarte precaut în construcțiile sale ipotetice. Este adevărat că el atribuie particulelor adînciturі și proeminențe, datorită cărora suprafața acestora ar fi rugoasă, dar într-o serie de probleme ale fizicii și ale chimiei, Lomonosov explică proprietățile corpurilor și variațiile acestor proprietăți nu prin forma și prin mărimea atomilor, ci prin configurația lor și prin modificările acestei configurații. Potrivit cu această concepție, în modelele lui Lomonosov figurează mai ales pozițiile și vitezele atomilor, nu forma și dimensiunile lor.

Moleculele acționează una asupra alteia prin ciocniri directe. Cît privește forțele coeziunii și celelalte forțe intermoleculare, Lomonosov le explică prin presiunea unei substanțe mai subtile, care apasă una de cealaltă moleculele și în care sînt cufundate moleculele legate prin forțele amintite.

Lomonosov a aplicat concepția atomistă la problema naturii căldurii, ceea ce l-a condus la ideea căldurii ca mișcare de rotație a moleculelor. Lomonosov opune această idee reprezentării caloricului, dominantă pe atunci.

Pe baza noțiunilor atomiste, a fost construit sistemul chimiei fizice, în care reacțiile chimice sînt explicate prin trecerea de la o configurație a atomilor la alta. La Lomonosov există noțiunea de „corpusculă", corespunzătoare moleculei actuale și noțiunea de „element", corespunzătoare atomului. „Corpusculele — scrie Lomonosov — sînt identice, dacă sînt constituite din același număr al acelorași elemente, reunite în același mod"[1].

Concepțiile lui Lomonosov în domeniul fizicii, în particular reprezentarea cinetică despre căldură, l-au condus la ideea conservării mișcării. Concepțiile din chimie,

[1] M. V. Lomonosov, *op. cit.*, vol. I, 1950, p. 81.

ideea după care reacțiile chimice sînt regrupări ale unor atomi indestructibili, au condus la principiul conservării substanței. Această idee a luat în secolul al XVIII-lea o formă deosebit de clară după falimentul teoriei flogisticului și după crearea teoriei lui Lavoisier (1743—1794) a arderii datorită oxigenului. Teoria arderii datorită oxigenului și renunțarea la noțiunea de flogistic au constituit una din etapele de cotitură din istoria chimiei și din istoria ansamblului științelor naturii. Ele au făcut din principiul conservării masei și a greutății, care este proporțională cu ea, fundamentul chimiei. Cît privește conservarea mișcării, aici a avut o importanță hotărîtoare renunțarea la caloric și la fluidul electric specific. Lomonosov considera electricitatea drept o rotație a particulelor eterului. Propagarea sarcinii este propagarea unei anumite viteze de rotație a particulelor. Fluidul, de astă dată nespecific, se propagă de la un corp la altul; nu mai este vorba despre o densitate determinată a fluidului electric ca la Franklin, nici despre densitatea eterului ca la Euler, ci despre o mișcare anumită a eterului, despre o viteză anumită a rotației particulelor sale.

Lomonosov atribuie „monadelor fizice" întindere și indivizibilitate absolută. Prin aceasta, atomul este desprins din rîndul celorlalte elemente discrete ale substanței, care sînt formații relativ *stabile*. Atomii servesc ca măsură absolută a substanței. Spațiul, timpul și mișcarea sînt omogene și continue. În ele nu există nici locuri naturale preferențiale (omogenitate), nici distanțe și durate elementare naturale și indivizibile (continuitate). De aceea, locul unei particule, momentul cît se află într-un loc dat și mișcarea ei dintr-un loc în altul se înregistrează fără o definiție naturală a unei măsuri. Însă cantitatea de substanță — la Lomonosov ea este măsurată prin masă — poate fi exprimată printr-o măsură naturală, adică numărul de particule, și ea este, în acest sens, absolută.

Pentru atomistica secolului al XVIII-lea a avut o importanță esențială asimilarea particulelor de substanță cu mase punctuale. În aceste condiții, domeniul proceselor fizice și chimice (în principiu și al celor biologice) a devenit cîmpul de acțiune al unor legi mecanice la fel de univoce și de riguroase ca cele ce acționează în mecanica cerească. Particulele sînt legate

între ele prin forțe de natură eventual diferită de a celor gravitaționale, dar care se reduc la atracție. De altfel, dependența lor de distanță (ceea ce am putea denumi astăzi ecuații de cîmp) nu se pretează la o definiție. O astfel de schemă a fost conturată la sfîrșitul secolului în lucrările lui Laplace: *Sistemul lumii* și *Expunere a sistemului lumii*. În ultima lucrare, Laplace scrie:

„Atracția pare evanescentă între corpurile de dimensiuni infime, dar ea se manifestă într-o infinitate de forme. Rigiditatea, cristalizarea, refracția luminii, ridicarea și scăderea unui lichid în capilare și toate combinațiile chimice sînt rezultatul unor forțe a căror cunoaștere este principalul scop al cercetării naturii. Așadar, materia este supusă la diverse forțe de atracție. Unele dintre ele se întind la distanțe spațiale infinite și guvernează mișcările Pămîntului și ale corpurilor cerești. Cît privește structura internă a substanței, care constituie un corp, aceasta se datorește cu precădere altor forțe, care se manifestă numai la distanțe inaccesibile observației. De aceea, putem considera aproape imposibile determinările acestor forțe în funcție de distanță. Din fericire, proprietățile ce ies în evidență numai la poziții ale corpurilor care sînt extrem de apropiate de contact sînt suficiente pentru a analiza un mare număr de fenomene interesante"[1].

Mai departe, Laplace trece la problemele opticii, ale elasticității și la alte probleme fizice, precum și la probleme fizico-chimice, pe care vrea să le rezolve cu ajutorul atracției moleculare. Laplace ne avertizează, cu acest prilej, că ideea atracțiilor moleculare permite asimilarea moleculelor cu stelele, plecînd de la faptul că distanțele dintre molecule întrec în aceeași proporție dimensiunile lor, cum întrec distanțele dintre stele dimensiunile acestora.[2]

În principiu, toate problemele din Univers se reduc la mișcări ale particulelor, dependente de pozițiile și de vitezele lor. Această idee i-a oferit lui Laplace temeiul nu numai ca să-i răspundă lui Napoleon prin minunata formulă a sensului antiteologic al științei din secolul al

[1] Laplace, *Exposition du Système du Monde*, vol. II, Paris, 1836, p. 353.
[2] *Ibidem*, pp. 353—354.

XVIII-lea, ci și să exprime un rezultat pozitiv al secolului Rațiunii. Laplace scrie că o ființă care ar cunoaște la un moment dat pozițiile și vitezele tuturor particulelor din Univers ar putea să prevadă cu absolută precizie toate evenimentele ulterioare — cele cosmice, cele fizice, cele chimice, și chiar destinul istoric al omenirii și faptele istorice concrete ale viitorului.

Expresia matematică a acestui determinism mecanic consecvent și absolut a fost mecanica analitică, creată de Joseph Louis Lagrange (1736—1813), un contemporan mai în vîrstă al lui Laplace. Punctul de plecare al ecuațiilor de mișcare din mecanica analitică este principiul al doilea al lui Newton: accelerația este proporțională cu forța. Cunoscînd forța care acționează asupra unui corp în fiecare punct, în momentul în care corpul trece prin acest punct, putem determina comportarea ulterioară a corpului, coordonatele sale și viteza sa la orice moment dinainte stabilit al timpului. Forțele care acționează asupra corpurilor depind de poziția acestora unele față de altele, iar în anumite cazuri și de vitezele lor relative. De aceea, cunoscînd dispoziția particulelor și vitezele lor la momentul inițial, putem determina dispoziția și viteza particulelor, adică starea Universului, la orice moment viitor care ne interesează. Dacă o minte atotcuprinzătoare, care cunoaște coordonatele și vitezele tuturor particulelor în momentul de față, ar vrea să determine elementele viitoare, ea ar recurge la ecuațiile mecanicii analitice. Universul s-ar supune acestor ecuații, dacă legile sale s-ar reduce la o dependență uniformă a dispoziției particulelor din Univers, la fiecare moment ulterior, de dispoziția și de vitezele lor la momentul actual.

Lagrange, care s-a născut la Torino, a fost între anii 1766 și 1787 președintele Academiei de Științe de la Berlin, iar apoi a trăit la Paris, unde a sosit cu doi ani înainte de începerea revoluției și a murit cu doi ani înainte de prăbușirea imperiului. A luat parte la organizarea Școlii Normale, iar apoi a Școlii Politehnice — centrul unde erau pregătiți ofițerii de artilerie și geniști ai Franței și centrul gîndirii fizico-matematice mondiale la sfîrșitul secolului al XVIII-lea și începutul secolului al XIX-lea. Lagrange s-a ținut departe de evenimentele politice, însă biografia sa științifică este apro-

piată de mișcarea de idei care a pregătit revoluția. În fizica secolului al XVIII-lea, ideea unui sistem de ecuații unic, care să definească comportarea Universului, era cea mai înaltă expresie a raționalismului ce epurase mintea francezilor de teologie, pregătind astfel istoricele evenimente de la sfîrșitul secolului.

În *Mecanica analitică*, apărută în 1788, Lagrange introduce noțiunea de *coordonate generalizate*. Această noțiune nu a fost pur și simplu numai fecundă, în aplicațiile ei ulterioare. Ea a produs, și mai produce și astăzi, o puternică impresie prin eleganța și prin generalitatea ei.

Lagrange consideră un sistem de corpuri ale căror dimensiuni sînt neesențiale pentru problema respectivă, adică un sistem de puncte materiale. Poziția fiecărui punct material este descrisă prin trei coordonate. Poziția tuturor celor N puncte care fac parte din sistemul considerat poate fi descrisă prin cele trei coordonate ale primului punct, prin cele trei coordonate ale celui de-al doilea punct, prin cele trei coordonate ale celui de-al treilea punct etc. pînă la cele trei coordonate ale celui de-al N-lea punct material, adică ultimul. În total va fi nevoie de 3N numere, care în ansamblul lor ne dau descrierea completă a configurației sistemului compus din N puncte, la fel cum trei coordonate descriu poziția unui singur punct material. Să denumim aceste 3N numere coordonatele generalizate ale sistemului. Dacă configurația sistemului este descrisă prin 3N coordonate, putem vorbi despre un „spațiu de configurație" 3N — dimensional. Fiecărei configurații a sistemului îi corespunde cîte un „punct" al spațiului configurațiilor, adică 3N coordonate din spațiul abstract introdus în acest fel. În majoritatea cazurilor, pentru descrierea configurației unui sistem ne putem mulțumi cu un număr mai mic de coordonate generalizate. De exemplu, un sistem format din două particule legate printr-o bară rigidă nu este descris prin șase coordonate generalizate, ci numai prin cinci. Dacă vom considera una din aceste particule ca fiind situată în centrul unei sfere avînd raza egală cu lungimea barei, atunci a doua particulă va luneca pe suprafața sferei. Vom avea nevoie de cele trei coordonate ale primului punct și de două coordonate pentru a determina poziția celui de-al doilea punct pe suprafața

sferei (la fel cum se determină poziția unui punct de pe suprafața terestră prin longitudine și latitudine).

Pentru a prevedea toate configurațiile ulterioare ale sistemului trebuie să cunoaștem, în afară de coordonatele generalizate care descriu configurația la un moment dat, viteza cu care variază fiecare coordonată, adică vitezele generalizate. Atunci, ecuațiile lui Lagrange ne permit să determinăm *starea* sistemului (coordonatele și vitezele particulelor care îl constituie) pentru viitor.

Mecanica analitică, creată de Lagrange, a căpătat o amplă dezvoltare și aplicare în astronomia, în mecanica și în fizica secolului al XIX-lea. Hamilton (1805—1865) i-a dat o formă și mai armonioasă, care a permis să se pună în evidență și mai clar dependența univocă a comportării viitoare a sistemului de starea sa la momentul inițial. Dacă sînt date ecuațiile hamiltoniene ale sistemului, starea sa la un moment dat determină complet și cu absolută precizie starea sa în fiecare moment ulterior. Noțiunea de stare dezvoltă mai departe noțiunea de obiect fizic identic cu sine. Identitatea cu sine a corpului, atunci cînd poziția sa spațială și timpul variază, este garantată de legea cu acțiune permanentă care leagă poziția și viteza corpului de timp. În cazul unui *sistem* mecanic, această lege leagă starea sistemului (coordonatele sale generalizate și vitezele sale generalizate) de stările ulterioare. Cu ajutorul coordonatelor generalizate, comportarea sistemului poate fi prezentată sub forma mișcării unui punct într-un spațiu de configurație cu mai multe dimensiuni. Legea care guvernează mișcarea, în cadrul căreia o stare a sistemului este legată de alta în funcție de timp, acționează continuu. Aceasta își găsește expresia în caracterul diferențial al ecuațiilor mecanicii analitice. Ecuațiile mecanicii analitice ne permit să urmărim comportarea sistemului în fiecare clipă și ne garantează că avem de-a face cu același sistem, identic cu sine. Identitatea cu sine banală a *sistemului* este identitatea sa cu sine în cazul unei configurații invariabile (corespunzătoare poziției invariabile a unei particule) și la un același moment. Identitatea cu sine nebanală a sistemului este identitatea sa cu sine la momente diferite, cărora le corespund configurații diferite (analoge pozițiilor diferite ale unui punct mobil). Ecuațiile de mișcare sînt o reprezentare diferențială,

adică o reprezentare care pleacă de la identitatea cu sine a corpului și de la continuitatea mișcării sale.

Ce determină, în fiecare caz concret, natura dependenței de timp a poziției particulei? Dependența poate fi liniară: poziția particulei, distanța ei la punctul inițial, va fi proporțională cu timpul. În acest caz, particula se mișcă uniform și rectiliniu. Într-un caz mai general, aflîndu-se sub acțiunea unor forțe, particula se va mișca după o curbă și va parcurge în intervale de timp egale distanțe diferite.

Se constată că putem determina în ce fel va varia poziția particulei în decursul timpului, cu alte cuvinte putem determina forma dependenței funcționale a poziției particulei de timp, deci poziția particulei în fiecare moment, adică forma curbei pe care a descris-o particula în spațiu între punctele A și B. Ea poate fi determinată din următoarea condiție: oricare ar fi forțele ce acționează asupra particulei, aceasta se va mișca de la A la B în așa fel, încît produsul dintre masa ei, viteza ei și distanța parcursă va fi minim. Produsul acestor mărimi se numește *acțiune*. Traiectoria reală a particulei se deosebește de toate celelalte curbe care pot fi duse de la A la B, prin acțiunea minimă și, după această condiție, putem afla ușor traiectoria reală a particulei. Viteza particulei poate varia de-a lungul drumului de la A la B; de aceea, trebuie să împărțim drumul în segmente infinit mici, să obținem pentru fiecare din aceste segmente produsul său cu masa și viteza particulei, iar apoi să adunăm această infinitate de produse. Știm că suma infinității de mărimi infinit mici astfel obținută se numește integrala pe drumul de la A la B. Integrala acțiunii în lungul drumului particulei trebuie să fie minimă.

Principiul acesta a fost exprimat la jumătatea secolului al XVIII-lea de către Maupertuis (1698—1759), apoi de către Euler (1707—1783) și de către Lagrange. În secolul al XIX-lea principiul minimei acțiuni a căpătat o nouă formă în lucrările lui Hamilton, Jacobi (1804—1851) și M. V. Ostrogradski (1801—1861).

Noțiunea de acțiune ni se pare mai artificială decît astfel de noțiuni ale mecanicii, ca cele de poziție, viteză, accelerație, impuls, energie. Aceste mărimi caracterizează particula în fiecare punct și la fiecare moment,

iar prin imuabilitatea sau prin necesitatea și continuitatea variației lor, ele garantează identitatea cu sine a particulei. Identificînd particula, ne convingem că ea este „aceeași", după poziția neschimbată a particulei, sau dacă poziția variază în timp, atunci după raportul constant dintre creșterile coordonatelor și timp (după viteza constantă, adică după legea liniară a variației poziției) sau, dacă variază și viteza, după accelerația constantă etc. Conservarea acestor caracteristici locale apare ca o expresie naturală a faptului că particula rămîne ea însăși, indiferent de mișcarea ei.

Alta este situația cu integrala de acțiune. Această mărime nu caracterizează comportarea particulei în fiecare punct. Valoarea cea mai mică a integralei de acțiune la trecerea particulei din punctul A în punctul B determină în mod integral, în ansamblu, drumul parcurs de particulă, traiectoria ei și viteza ei pe această traiectorie. Predecesorii lui Lagrange (Maupertuis și Euler) înclinau să distingă în principiul minimei acțiuni o mărturie a înțelepciunii Providenței. Lagrange, reprezentant al unei concepții despre lume militant-antiteologice, a dat principiului minimei acțiuni un caracter formal. În deceniul al patrulea al secolului al XIX-lea Hamilton a exprimat principiul minimei acțiuni într-o altă formă; el nu a considerat mișcarea particulei între două puncte fixate ale spațiului *într-un timp diferit*, ci mișcarea în intervalul dintre două momente fixate ale timpului. Particula părăsește un punct fixat la un moment fixat și ajunge într-un alt punct fixat la un alt moment fixat. Mișcarea ei în intervalul dintre aceste două momente este determinată de condiția: integrala de acțiune în raport cu timpul trebuie să fie minimă.

Deoarece rezultatul (integrala de acțiune), realizat la sfîrșitul unui anumit interval de timp, definește mișcarea punctului în cursul acestui interval, principiul lui Hamilton oferă și el prilej pentru o reacțiune anticauzală. Nu era greu de arătat că acest principiu nu are nimic comun cu teleologia (aceasta au făcut-o Jacobi și alți mecanicieni încă în prima jumătate a secolului al XIX-lea); era mult mai greu de găsit un model concret, care să explice în ce fel mișcarea unui corp, supusă unor legi diferențiale, satisface condiții integrale.

Această problemă s-a dovedit a fi foarte grea, şi abia acum ne apropiem de rezolvarea ei.

Să revenim la reprezentarea propriu-zis diferenţială a mişcării. Legea care guvernează schimbarea poziţiei particulei sau a configuraţiei sistemului în funcţie de timp nu ne spune nimic despre condiţiile iniţiale ale mişcării, nu ne indică începutul natural al mişcării punctului material. Reprezentarea diferenţială asupra mişcării pleacă de la faptul că la trecerea spre momentul următor acţionează aceeaşi lege ca şi la trecerea de la momentul precedent la cel prezent. În acest sens, reprezentarea diferenţială a mişcării ne conduce la noţiunea de relativitate: putem vorbi despre mişcare în lipsa unor frontiere absolute şi, în genere, în lipsa unor puncte preferenţiale, raportînd mişcarea la un punct de referinţă ales în mod arbitrar. În conformitate cu aceasta, la integrare, putem adăuga la rezultat întotdeauna o constantă arbitrară: legea diferenţială nu se schimbă dacă trecem de la un punct de reper la altul. Independenţa legii diferenţiale faţă de condiţiile iniţiale şi, corespunzător, imposibilitatea de a afla condiţiile iniţiale cînd sînt date numai caracteristicile diferenţiale ale mişcării exprimă relativitatea mişcării. În fiecare problemă, putem alege ca iniţială orice stare a sistemului. Începutul *natural* al mişcării va fi trecerea la legi principial diferite. Anticipînd, vom menţiona descifrarea noţiunii „legi principial diferite", în ştiinţa secolului al XIX-lea. Este vorba despre legile statistice ale mişcărilor moleculare de masă, ireductibile la legile mecanicii, care guvernează mişcarea moleculelor individuale. Trecerea de la legile pur statistice ale existenţei unei mulţimi de molecule care se mişcă dezordonat la legile mecanice ale mişcării corpurilor materiale corespunde creării unui nou sistem de corpuri macroscopice din haosul unor molecule individuale ce se mişcă dezordonat. Dacă legile care definesc mişcările moleculare dezordonate sînt înlocuite prin legi care definesc mişcarea comună a tuturor moleculelor cu aceeaşi viteză macroscopică, înseamnă că a apărut un nou corp macroscopic, identic cu el însuşi. Aşadar, pentru ecuaţiile de mişcare, condiţiile iniţiale — „pata necauzală" a reprezentării diferenţiale — puteau căpăta

o explicație cauzală în urma lărgirii sferei de legi ce figurează în tabloul științific al lumii.

Această pată albă din concepția cauzală asupra lumii a existat încă pe timpul lui Newton. Legea gravitației și principiul inerției explică mișcarea Pămîntului pe orbită cu o viteză orbitală determinată. Cîmpul gravitațional al Soarelui determină accelerația Pămîntului în fiecare punct și la fiecare moment. Dar ce determină viteza constantă, tangențială, adică viteza orientată după tangenta la orbită? Din ecuația de mișcare ea nu poate fi dedusă, ci este definită de condițiile inițiale.

Cînd condițiile inițiale nu pot fi deduse din legile unei mișcări date, ele își pot găsi o explicație prin luarea în considerare a unei mișcări ce a precedat-o pe cea dată și care a condus la crearea sistemelor identice cu sine, participante la această mișcare. Tocmai acesta este sensul teoriei originii sistemului solar, propusă în 1755 de Kant (1724—1814).

În 1755 a fost tipărită la Königsberg *Istoria naturală universală și teoria cerului, sau încercare de a expune alcătuirea și originea mecanică a Universului după principiul lui Newton.* Pe cînd lucrarea lui Kant se găsea sub tipar, editorul ei a dat faliment, depozitul fiind sigilat împreună cu exemplarele *Istoriei naturale a cerului* aflate în el, iar teoria lui Kant a rămas necunoscută atunci. Mai tîrziu, în 1763, Kant a expus conținutul teoriei sale într-un mic tratat, consacrat demonstrației existenței lui Dumnezeu. Înecată în considerații teologice, teoria cosmogonică a lui Kant a putut să pătrundă tot atît de puțin în știința naturii, ca și conținutul lucrării din depozitul de la Königsberg. Dar nu aceste cauze întîmplătoare au împiedicat teoria lui Kant să devină ideea conducătoare a studiului naturii în a doua jumătate a secolului al XVIII-lea. Pentru ca să poată fi înțeleasă, nu existau încă suficiente date empirice care să permită adoptarea unui tablou determinat al dezvoltării Universului.

Ideile concrete ale lui Kant despre crearea sistemului solar și a Universului nu au căpătat nici pînă acum o apreciere clară, însă încercarea principală de a interpreta mecanicist impulsul prim a avut o importanță colosală pentru ansamblul concepției științifice asupra lumii.

În *Istoria naturală a cerului*, Kant critică ideea impulsului divin care a pus în funcțiune lumea, pentru ca aceasta să se miște apoi sub acțiunea inerției și a gravitației reciproce dintre corpuri. Newton scria că mișcarea planetelor este „hotarul ce desparte între ele natura și mîna lui Dumnezeu". Kant califică această idee drept „o soluție a problemei, deplorabilă pentru un filozof"[1], și vrea să găsească o explicație cauzală pentru condițiile inițiale ale mișcării corpurilor cerești. În sistemul solar nu există forțe care să explice impulsul prim. De aici rezultă numai că o astfel de forță a existat înainte. Ea a constat în atracția și respingerea moleculelor unei nebuloase originare. Kant expune modul în care atracția și respingerea moleculelor au determinat, pînă la urmă, o mișcare turbionară. Este înfățișată apoi ideea rotației nebuloasei care a făcut anumite părți din ea să se desprindă, să se transforme în planete, iar partea centrală a nebuloasei să devină Soarele. Sistemul solar se încadrează în sistemul mai vast al Căii Lactee, care s-a format într-un mod analog. Sistemul Căii Lactee este o parte a unui sistem și mai vast. Ierarhia acestor sisteme este infinită. Viteza mișcării corpurilor cerești în jurul centrelor de gravitație se micșorează, în cele din urmă ele cad pe corpurile centrale, și aceste ciocniri conduc la apariția unor noi nebuloase: „Natura este pasărea Phoenix, care își dă foc pentru a renaște reînnoită din propria ei cenușă"[2].

Laplace a dezvoltat ulterior idei similare [motiv pentru care teoria ce cuprinde aceste idei aparținînd celor doi savanți s-a încetățenit în știință sub numele de *teoria Kant-Laplace*], care a devenit pentru mult timp cea mai răspîndită concepție cosmogonică. Punctul ei slab era, în esență, introducerea arbitrară a mișcărilor de rotație, generate de forțele centrale ale atracției și respingerii moleculare. Forțele centrale nu puteau explica rotația nebuloasei. Kant a presupus că condițiile inițiale ale mișcării macroscopice a corpurilor cerești sînt generate de mișcările moleculare, dar el nu putea să spună pe atunci nimic precis despre particularitățile

[1] I. Kant, *Allgemeine Naturgeschichte des Himmels. Kants Werke*, Hartenstein, vol. VIII, Leipzig, 1839, p. 351.
[2] *Ibidem*, p. 338.

mișcărilor moleculare. Explicarea impulsului prim cu ajutorul unor reprezentări atomistice a fost o idee de geniu. Dar, în secolul al XVIII-lea, ea nu se putea materializa într-o concepție univocă, în primul rînd pentru că nu se știa nimic despre legile specifice care deosebesc mișcările moleculare de mișcările corpurilor macroscopice. Trebuie spus, de altfel, că în secolul al XIX-lea, cînd au devenit cunoscute legile statistice ale fizicii moleculare, problemele cosmogonice nu puteau fi rezolvate într-un mod univoc, cum au și rămas nerezolvate pînă astăzi; rezolvarea lor este legată nu numai de legile mișcărilor moleculare, ci și de legile specifice care guvernează comportarea — mișcarea și transformările — atomilor, nucleelor atomice și particulelor elementare. În secolul al XIX-lea nu exista o idee cîtuși de puțin clară despre formele specifice ale mișcării; această idee era conținută doar în germen, ca o interpretare fizică posibilă a unor noțiuni matematice deja apărute.

Același lucru se poate spune și despre ideile geologice evoluționiste din secolul al XVIII-lea. Ele corespundeau aspirației generale spre o explicație cauzală completă și închegată a naturii. În urma dezvoltării cunoștințelor geologice, savanții secolului al XVIII-lea au ajuns la ideea unui mecanism cauzal al transformării structurii scoarței terestre. Inițial, acest mecanism cauzal a fost căutat în acțiunea apei asupra învelișului solid al Pămîntului. Din apa care acoperă Pămîntul se depun succesiv straturi ale scoarței terestre. Acest punct de vedere a fost exprimat încă în secolul al XVII-lea. Steno, membru al Academiei de la Florența, care a cercetat structura scoarței terestre în Toscana, a ajuns la concluzia că cele mai vechi straturi s-au format în marea în care acoperea Pămîntul. Apoi marea a dispărut și Pămîntul a fost supus acțiunii altor procese, de natură vulcanică. Ulterior, marea a inundat din nou suprafața Pămîntului.

În secolul al XVII-lea a apărut în geologie încercarea de a aplica chimia la studiul mineralelor; a început să fie folosit suflătorul; cercetarea mineralelor s-a dovedit a fi strîns legată de metalurgie. Cu ajutorul suflătorului s-a obținut din minereuri un mare număr de metale, precum și arsenul și sulful. O a doua metodă a

mineralogiei — analiza soluțiilor apoase ale mineralelor — a dat de asemenea rezultate care au fost sintetizate de gîndirea geologică din secolul al XVIII-lea. Datele experimentale au fost completate prin sistemul clasificării mineralelor, creat de Werner (1750—1817), pe baza unei metode minuțioase de determinare subiectivă a greutății specifice, a durității, a culorii, a naturii rupturilor și a altor proprietăți ale mineralelor.

Cunoștințele din domeniul mineralogiei și-au găsit o sinteză și o generalizare inițială în așa-numitul neptunism, doctrina amintită mai sus a rocilor *sedimentare* originare. Adepții neptunismului, între care și Werner, erau de părere că rocile vulcanice ar fi cele mai tinere. Aceste roci ar fi apărut în urma unor incendii subterane, care au topit straturile originare sedimentate în mările ce acoperiseră anterior Pămîntul.

Neptunismul era o încercare de explicație mecanică a proceselor care au făcut ca suprafața și interiorul Pămîntului să ajungă la starea lor actuală. Această încercare cuprindea o explicație a condițiilor inițiale ale evoluției geologice: existența unor mări în care s-au sedimentat rocile originare. Dar explicația reală a condițiilor inițiale ale evoluției geologice poate fi dată numai de o teorie care s-o lege pe aceasta de evoluția cosmogonică și să indice premisele cosmogonice ale punctului ce a constituit începutul evoluției Pămîntului.

De această concepție s-a apropiat un alt curent al gîndirii geologice din secolul al XVIII-lea: vulcanismul. Adepții săi considerau drept originare rocile eruptive. Răspîndirea vulcanismului era legată de cercetări experimentale. De exemplu, după ce s-a solidificat lava topită a Vezuviului și a căpătat o structură cristalină, aceasta a constituit un important argument în favoarea vulcanismului în disputele sale cu neptunismul, care susținea că numai în soluții apoase se pot forma cristalele.

O concepție evoluționistă caracteristică pentru secolul al XVIII-lea a fost dezvoltată și în lucrările de geologie ale lui Lomonosov, mai ales în articolul *Despre straturile pămîntești.* În acest articol Lomonosov scrie despre variabilitatea Cosmosului și a Pămîntului: „Așadar, greșit gîndesc unii că tot ce vedem a fost făcut dintru început de creator, că nu numai munții, văile

şi apele, dar şi diferitele feluri de minerale s-ar fi format împreună cu lumea întreagă, şi de aceea nu este nevoie să cercetăm cauzele pentru care ele se deosebesc prin însuşirile lor lăuntrice sau prin locurile lor. Astfel de raţionamente sînt foarte dăunătoare pentru creşterea tuturor ştiinţelor, deci şi pentru cunoaşterea naturală a globului pămîntesc, iar îndeosebi pentru meşteşugul mineritului, deşi pentru anumiţi deştepţi este uşor să fie filozofi după ce au învăţat pe dinafară trei cuvinte: aşa a lăsat Dumnezeu, dînd aceasta ca răspuns în loc de orice cauze"[1].

Aici este caracteristic atît ascuţişul antiteologic, cît şi legătura dintre ideile evoluţioniste cosmogonice şi geologice. După Lomonosov, rocile originare sînt rezultatul activităţii vulcanice din interiorul Pămîntului. Dar cauza activităţii vulcanice nu este evoluţia sistemului solar care a creat condiţiile iniţiale ale istoriei geologice a Pămîntului. Lomonosov vede cauza activităţii vulcanice în permanenta aprindere spontană a sulfului concentrat în interiorul Pămîntului. El caută o serie continuă de evenimente de la arderea sulfului pînă la schimbarea suprafeţei terestre, soluţie în care fiecare configuraţie ulterioară a particulelor să fie determinată de starea precedentă a Pămîntului ca sistem de particule, adică de poziţia şi de vitezele particulelor. La fel cu alţi gînditori din secolul al XVIII-lea, Lomonosov nu cunoaşte salturile calitative din procesele de evoluţie; pentru el, evoluţia este un şir de evenimente avînd aceeaşi natură: deplasări ale atomilor din care este constituit sistemul evolutiv. De aceea, la fel cu întreaga ştiinţă a secolului al XVIII-lea, Lomonosov nu a depăşit cadrul unei forme unice de mişcare. Evoluţia geologică a lui Lomonosov s-ar încadra complet, ca şi evoluţia cosmogonică a lui Kant, în schema ecuaţiilor lui Lagrange sau în dependenţa laplaceiană a fiecărei stări ulterioare a Universului de starea sa iniţială. Moleculele au o dispoziţie haotică şi o distribuţie haotică a vitezelor; apoi, din această stare, în virtutea legilor mecanicii, sistemul trece într-o altă stare cu configuraţia ordonată şi cu o distribuţie ordonată a vitezelor mole-

[1] M. V. Lomonosov, *Opere complete*, vol. V, M.—L., 1955, pp. 574—575 (ed. rusă).

culelor. La aceasta se reduce schema lui Kant. Geologia evoluționistă din secolul al XVIII-lea, de exemplu concepția lui Lomonosov, se reduce la o schemă analogă. Rapida „mișcare rotitoare" a particulelor materiei, adică temperatura înaltă din interiorul Pămîntului, determină, pe baza unor legi pur mecanice, deplasarea ordonată a maselor macroscopice în scoarța terestră. Înseși condițiile inițiale sînt un rezultat al modificărilor configurațiilor atomice, adică un rezultat al stărilor mecanice precedente. În succesiunea de stări mecanice nu există o trecere de la legile de un tip la legi de alt tip.

În esență, găsim o schemă analogă și la baza unora dintre ideile cele mai înaintate din biologia secolului al XVIII-lea. Teoria creșterii pur cantitative a unui germen preformat depășea cadrul reprezentării diferențiale. Dacă evoluția organismului este determinată, la fiecare moment, nu de starea sa precedentă, ci de conservarea formei organismului în cursul ontogenezei, adică de o lege integrală, atunci, evident, ontogeneza nu depinde numai de configurațiile și de vitezele particulelor care constituie organismul. Spiritului determinismului mecanicist îi corespundea o altă teorie, numită teoria *epigenezei*, care susținea că organele se formează din substanță neorganizată. Această teorie a fost emisă de Kaspar Friedrich Wolff (1733—1794), elev al lui Christian Wolff. El a venit în 1766 în Rusia, unde a lucrat pînă la sfîrșitul vieții la studiul unor probleme de anatomie și de embriologie în cadrul Academiei de Științe de la Petersburg.

Wolff afirma că în tulpina plantei există un punct vegetativ unde masa neorganizată primitivă se transformă, sub influența sucurilor nutritive, în diversele țesuturi. Evaporîndu-se, picăturile sucurilor nutritive se solidifică, se acoperă cu un înveliș și se transformă în elemente de țesuturi. Cu tot caracterul fantezist al acestor amănunte, lucrările lui Kaspar Wolff au creat premisele esențiale ale embriologiei științifice. Ele au introdus în știință ideea de evoluție calitativă a organismului, în opoziție cu creșterea pur cantitativă a unui organism preformat. De altfel, concepția preformistă a rămas dominantă în secolul al XVIII-lea. Ne interesează însă o altă latură a chestiunii. Evaporarea sucurilor nutritive, procesele fizico-chimice din substanța

neorganizată etc., după concepțiile secolului al XVIII-lea, lea, puteau fi reduse la mecanica unor particule. În conformitate cu aceasta, teoria epigenezei putea deveni, în principiu, o parte a sistemului mecanic laplaceian. Dar cum se puteau deduce din mecanica moleculelor existența și stabilitatea speciilor?

Aceasta era mai greu decît să se explice existența și stabilitatea unor orbite planetare bine determinate. În ambele cazuri, dificultatea consta în lipsa de date referitoare la formele de mișcare mai complexe. Într-un caz, lipseau date pentru o cosmogonie științifică, iar în celălalt, pentru o teorie a filogenezei.

Mișcarea unei planete pe orbită este explicată printr-o lege diferențială și descrisă de o ecuație diferențială; pentru a determina însă condițiile inițiale ale mișcării orbitale a unei planete, pentru a determina masa ei, masa Soarelui, componenta tangențială etc. trebuiau luate ca punct de plecare legile formării sistemului solar. Esența problemei consta în aceea că legile cosmogonice erau considerate ca fiind, în esență, *de același tip* cu legile mecanice ale mișcării planetelor.

Vom vedea că în secolul al XVIII-lea încercările de a ajunge la o teorie a filogenezei nu au depășit nici ele limitele concepției potrivit căreia legile naturii sînt toate de același tip. Gînditorii secolului al XVIII-lea au ajuns la legile ontogenezei sau, cel puțin, și-au închipuit că au ajuns la ele. Se considera, în principiu, că ontogeneza poate fi redusă la mecanica moleculelor. Dar cum să se explice că moleculele se dispun într-un mod anumit și nu în altul, tocmai astfel încît să formeze țesuturi și organisme determinate? Cum să se explice repetarea ciclurilor ontogenetice, permanența și evoluția treptată a caracterelor specifice? La aceasta trebuia să răspundă teoria filogenezei.

O premisă a acestei teorii a fost reacțiunea împotriva sistematicii artificiale și tendința de a obține un sistem natural unitar al lumii. *Istoria naturală*, a lui Buffon (1707—1788), apărută în anii 1769—1770, a concretizat aceste tendințe ale gîndirii științifice de la mijlocul secolului, exercitînd o influență foarte puternică asupra generației următoare. În *Istoria naturală*, Buffon se ocupă de probleme ale cosmogoniei, ale geografiei, ale

geologiei şi aproape de toate capitolele biologiei. Istoria Pămîntului este împărţită în şapte perioade. Prima este perioada apariţiei Pămîntului şi a celorlalte planete. Ele s-au rupt din Soare. Cauza acestei ruperi nu o constituie forţele moleculare, ca la Kant, ci coliziunea Soarelui primitiv cu o cometă. Evoluţia cosmogonică este explicată prin evenimente pur mecanice. A doua perioadă cuprinde diferenţierea substanţei pe Pămîntul format. În decursul acestei perioade apare învelişul solid al Pămîntului, iar particulele de vapori şi de aer se strîng deasupra suprafeţei terestre. În a treia perioadă ploile inundă Pămîntul şi formează oceanele. Oceanele netezesc suprafaţa Pămîntului, umplu defileurile şi văile cu fragmente ale rocilor originare şi creează astfel roci noi, sedimentare. Perioada a patra se caracterizează prin scăderea nivelului oceanului mondial şi prin apariţia continentelor. În perioada a cincea apar pe continentul mondial animalele şi plantele. Perioada a şasea este ceea a formării continentelor actuale din continentul primitiv unic. În decursul ultimei perioade — a şaptea — apare omul.

Între anii 1770 şi 1780, aceste concepţii trebuiau să aibă inevitabil un mare răsunet social. Cercurile teologice au pornit atacul împotriva lui Buffon. În urma unei hotărîri a Sorbonei, cartea sa a fost arsă, iar ulterior, în noile ediţii ale *Istoriei naturale,* Buffon a fost nevoit să ţină seama de dogmele bisericii.

După Buffon, existenţa vieţii nu putea fi dedusă din legile care guvernează procesele naturii anorganice. Animalele şi plantele sînt formate din molecule organice eterne, în timp ce natura nevie este constituită din molecule anorganice. Toate fenomenele vieţii se reduc la modificări ale configuraţiei moleculelor organice. După cum crede Buffon, ideea moleculelor organice permite să fie rezolvate problemele eredităţii, ale înmulţirii etc. Buffon compară organismul cu cristalele, care cresc din molecule identice şi au, de aceea, o formă invariabilă. La reunirea moleculelor organice într-un organism, forma organismului corespunde formei moleculelor organice.

La Buffon, trecerea de la o configuraţie a moleculelor organice la altă configuraţie este tot atît de continuă, cum sînt trecerile continue în lumea anorganică

de la un sistem mecanic la altul, care diferă de cel dintîi prin configurația sa. Buffon revine foarte des la continuitatea trecerilor de la o specie la alta. Găsim aici numeroase construcții arbitrare, în genul declarației surprinzătoare că pinguinul ar fi o verigă intermediară între pasăre și pește. În general însă, descrierile amănunțite, vii și concrete din cartea lui Buffon, care-l captivează pe cititor, se datoresc tendinței sale permanente de a evita clasificarea artificială și de a descrie organismele ca verigi intermediare între alte organisme. Această tendință de a găsi și de a descrie formele intermediare ale animalelor și plantelor astăzi existente îl conduce inevitabil pe Buffon la ideea că speciile înseși variază în timp. Buffon remarcă neconcordanța dintre înmulțirea efectivă și numărul colosal de indivizi noi, care pot să apară în condițiile unei înmulțiri fără piedici a organismelor. El scrie că pieirea în masă a organismelor permite să se păstreze un loc sub soare pentru plantele și animalele adaptate la condițiile de trai.

Buffon a creat un tablou armonios al naturii și al evoluției ei, cu prețul renunțării la unitatea și la trecerile reciproce ale substanței organice în cea anorganică și invers. Trecerea unui sistem de particule anorganice în altul este continuă. Tot continuă este trecerea de la o configurație de molecule organice la alta. Dar la Buffon nu există o trecere continuă de la particulele anorganice la moleculele organice. Un sistem unitar de formare succesivă a substanței organice din elemente anorganice — sistem dezvoltat în secolul anterior în lucrările lui Descartes — nu putea fi construit în secolul al XVIII-lea. Modelele fanteziste nu mai erau în spiritul timpului, în schimb nu s-a obținut un tablou univoc al tranzițiilor de la lumea anorganică la cea organică. În crîncenele controverse în jurul problemelor generației spontanee s-a stabilit treptat că fiecare organism ia naștere dintr-un alt organism viu. Natura a ajuns să fie împărțită în două. Hotarul dintre legile fizice și cele biologice nu putea fi șters. De aceea, programul lui Laplace — de a reduce toate fenomenele din Univers la mecanica particulelor — nu a fost realizat în acest caz. Biologia înainta spre recunoașterea unor legi specifice ale evoluției vieții.

Între astronomia, mecanica și fizica din a doua jumătate a secolului al XVIII-lea, pe de o parte, și biologia aceleiași perioade, pe de alta, a existat o legătură incontestabilă, dar ea nu a condus la o concepție mecanicistă închegată, unitară și elaborată amănunțit asupra lumii. A existat o anumită idee generală și nedeterminată despre reductibilitatea legilor biologice la cele fizice și, în ultimă instanță, la cele mecanice. A existat, mai departe, o analogie între tabloul dezvoltării vieții și tabloul fizic care urmărea evenimentele de la un punct la altul și de la o clipă la alta, legînd comportarea particulelor de starea lor anterioară. Analogia aceasta înaintează departe și-și găsește o explicație în rădăcinile ideologice comune ale fizicii și ale biologiei secolului al XVIII-lea. Dar analogia nu a făcut să dispară, ci doar a relevat deosebirea dintre substanța vie și cea lipsită de viață. În secolul al XVIII-lea, biologia evoluționistă se situa alături de tabloul fizic al mișcării particulelor, dar nu era o parte a acestui tablou. Subliniem din nou: nu este vorba despre recunoașterea sau nerecunoașterea principială a reductibilității legilor organice la mecanica particulelor — în această privință ideea dominantă a secolului al XVIII-lea a fost recunoașterea unei asemenea reductibilități principiale —, ci despre sistemele științifice concrete, la construirea cărora recunoașterea principială a reductibilității amintite se lovea de imposibilitatea efectivă de a urmări unitatea dintre lumea vie și cea anorganică cu gradul de claritate, detaliere și certitudine care corespundea secolului al XVIII-lea și-l deosebea de cel din secolul precedent.

Lamarck, discipol al lui Buffon și prieten al enciclopediștilor, a creat o concepție biologică strîns legată, prin spiritul ei, de ideile fizicii de la sfîrșitul secolului al XVIII-lea, care cuprindea însă și legi specifice ale evoluției vieții.

Lamarck (1744—1829) și-a elaborat ideile biologice în anii revoluției, dar lucrările sale principale au fost publicate mai tîrziu, în perioada Imperiului și a Restaurației. Pentru ideile generale ale lui Lamarck este caracteristică lucrarea sa *Sistem al cunoștințelor pozitive ale omului*. În opoziție cu doctrina „forței vitale" specifice, viața este definită aici ca un proces pur fizic.

În *Filozofia zoologiei* (primul capitol al volumului II), Lamarck revine la ideea carteziană după care căldura este cauza fundamentală a activității vitale a organismelor, adăugîndu-i și electricitatea. Dar la sfîrșitul secolului al XVIII-lea aceasta nu mai era suficient. Pe de altă parte, un tablou concret care să reducă procesele biologice la cele fizice ar fi fost fantezist. De aceea, în construcțiile sale concrete, Lamarck se străduiește să găsească numai dependența generală a formelor vii de ansamblul condițiilor de existență ale organismelor, fără să le descifreze amănunțit din punct de vedere fizic.

Lamarck pleacă de la dezvoltarea formelor organice. Această dezvoltare cuprinde uriașe perioade cronologice. El opune ideea unor termene lungi în istoria Pămîntului doctrinei imuabilității formelor vii, comparîndu-i pe adepții invariabilității speciilor cu o ființă care ar trăi o singură secundă, declarînd apoi că minutarul ceasornicului este fix. În fond, Lamarck a conceput dezvoltarea organismelor sub forma unei scări. Dar el nu a încercat să situeze toate genurile și chiar speciile pe treptele acestei scări.

„După ce a creat, cheltuind un timp imens, toate animalele și toate plantele — scrie el —, natura a format într-un regn și în celălalt o adevărată scară, în sensul complexității crescînde a organizării corpurilor vii, însă treptele acestei scări sînt sesizabile exclusiv pentru grupurile principale ale seriei generale, dar nu pentru specii, și nici măcar pentru genuri"[1].

Scara lui Lamarck era o clasificare naturală, construită pe baza unui bogat material empiric. După concepția lui Lamarck, clasificarea naturală trebuia să urmărească istoria adevărată a lumii organice. „Pentru a crea o astfel de clasificare — scrie Lamarck — trebuie să urmăm metoda naturală, să introducem în diviziunile noastre o ordine proprie naturii, deoarece numai aceasta este trainică, independentă de arbitrarul nostru și vrednică de atenția naturalistului... Gruparea speciilor trebuie să servească nu numai ca un îndreptar comod, ci în primul rînd ca o copie cît mai fidelă a ordinii firești, în care natura a produs ani-

[1] Lamarck, *Filozofia zoologiei*, M., 1935, p. 94 (ed rusă).

malele și care este atît de clar exprimată în relațiile lor mutuale"[1].

Lamarck l-a încadrat și pe om în sistemul său. După părerea lui Lamarck, omul seamănă cel mai mult cu cimpanzeul și, după toate probabilitățile, provine dintr-o specie de maimuțe înrudite cu cimpanzeul. În virtutea unor anumite cauze istorice, această rasă a fost nevoită să renunțe de a se mai cățăra pe copaci și a început să meargă mai frecvent pe pămînt. Drept urmare, strămoșii omului au luat poziția verticală a corpului, degetele mari de la membrele inferioare și-au redus opozabilitatea față de celelalte, și astfel ființele cvadrumane au devenit bimane, oameni.

Cauza principală a variabilității animalelor este moștenirea caracterelor dobîndite, ca rezultat al exersării. Variabilitatea se explică prin două legi: prima spune că folosirea îndelungată a unui organ îi mărește puterea proporțional cu timpul cît a fost folosit, iar lipsa îndelungată a folosirii unui organ îl slăbește treptat. A doua lege constă în moștenirea caracterelor dobîndite ca rezultat al folosirii unor anumite organe și al dezvoltării acestora.

Aceste legi sînt ilustrate printr-un mare număr de exemple, dintre care cel mai celebru a fost exemplul cu lungirea gîtului girafei, care, de-a lungul unui șir de generații, s-a străduit să ajungă la ramurile de la vîrful copacilor. Asemănător, cîrtița își pierde vederea, deoarece trăiește în întuneric; în urma obiceiului de a se tîrî pe pămînt, șarpele și-a pierdut picioarele; o pasăre de apă, întinzîndu-și degetele, a devenit palmipedă, la fel cu broaștele, broaștele țestoase, vidrele, castorii. Dimpotrivă, o pasăre obișnuită să stea în copaci și-a curbat degetele pînă au luat forma unor cîrlige. O pasăre care trăiește pe malul unei ape, întinzîndu-și picioarele ca să nu-și cufunde trupul în apă, a căpătat picioarele lungi caracteristice; ciocănitoarea, șarpele și șopîrla și-au lungit limba, străduindu-se să caute și să prindă prada etc.

Acesta este, după Lamarck, mecanismul filogenezei la animale. La plante, cauza directă a complicării organismului este influența mediului. „Aici totul se produce

[1] **Lamarck**, *op. cit.*, p. 91.

— scrie Lamarck — datorită variațiilor cantităților de lumină, căldură, aer, umezeală, pe care le capătă în mod obișnuit planta și, în sfîrșit, datorită avantajului pe care-l cîștigă anumite procese vitale față de altele"[1].

Nici Lamarck, nici alți biologi ai generației sale nu au încercat să explice și să contureze aici calea diferențială de la mecanica moleculelor mediului exterior la mecanica particulelor din care este constituit organismul, incluzînd și aparatul mecanic al eredității. Imposibilitatea practică a unei astfel de explicații era evidentă. Dar, asemenea enciclopediștilor, Lamarck nu a negat posibilitatea sa principială. Mai departe, Lamarck împarte Cosmosul în natura moartă și în cea vie și ia ca punct de plecare pentru aceasta din urmă anumite legi generale care guvernează atît dezvoltarea organismului, cît și dezvoltarea speciei.

Care este elementul cel mai specific pentru teoria lui Lamarck, din punctul de vedere al istoriei generale a științelor naturii? Care este trăsătura comună pentru explicația științifică a naturii, care unește concepția lui Lamarck cu cosmogonia lui Kant, cu atomistica lui Lomonosov, cu toate ideile științifice mai importante din a doua jumătate a secolului al XVIII-lea?

Aceasta este ideea potrivit căreia legile macroscopice și cele microscopice sînt de același tip. Aici este nevoie de o explicație prealabilă. Ideea actuală asupra legilor macroscopice și a celor microscopice pornește de la noțiunea de selecție. Legea microscopică guvernează anumite variații, iar legea macroscopică determină care dintre aceste variații dau în ansamblul lor un efect macroscopic. Evident, termenul „microscopic" are aici o altă semnificație decît cea proprie (legată de utilizarea microscopului), pe care-o întîlnim în literatura de biologie. În teoria lui Darwin, legea macroscopică este o lege care determină ce variații „microscopice" individuale din structura și funcțiunile organismului dau, în ansamblul lor, un rezultat macroscopic, o transformare a speciei. Această lege este concordanța dintre variațiile individuale și condițiile integrale, adică condițiile în care trăiește specia. Variațiile „microscopice" individuale, care concordă cu mediul „macrosco-

[1] Lamarck, *op. cit.*, p. 189.

pic", sporesc şansele organismului în lupta pentru existenţă şi prezintă o probabilitate mare de a fi moştenite şi de a da un rezultat „macroscopic" (adică privind specia în ansamblul ei). Legile „macroscopice" integrale de selecţie se deosebesc de cele „microscopice" diferenţiale, care determină variaţiile organismelor. În teoria lui Lamarck, legile care determină variaţiile individuale şi legile care determină orientarea filogenezei sînt de acelaşi tip. Teoria cosmogonică a lui Kant avea un caracter analog. Să o comparăm, de exemplu, cu concepţiile cosmogonice ale lui Boltzmann. În anumite părţi ale Universului, spune Boltzmann, are loc o trecere de la o neuniformitate apărută întîmplător în distribuţia vitezelor moleculelor la distribuţia uniformă mai probabilă. Distribuţia neuniformă a vitezelor moleculelor înseamnă că unele corpuri sînt mai calde decît altele, dat fiind că viteza medie a moleculelor este proporţională cu căldura. Trecerea căldurii de la corpurile fierbinţi la cele reci, nivelarea temperaturii, care conduce la o distribuţie mai uniformă a vitezelor moleculare, permit transformarea căldurii în alte forme de energie. Este vorba aici despre legi propriu-zis mecanice (reversibile) ale mişcării moleculelor individuale şi despre legile macroscopice statistice ireversibile ale trecerii de la stări mai puţin probabile ale corpului macroscopic la stări mai probabile.

Teoriile cosmogonice din secolul al XVIII-lea nu cunoşteau astfel de deosebiri ale tipului legilor. Kant a conturat legile nestatistice ale evoluţiei Cosmosului. Lamarck a vorbit despre legile nestatistice ale evoluţiei biologice. Statistica, probabilitatea formează îmbinarea între legile de tip diferit ale lumii. Tocmai pe aceasta nu o cunoştea ştiinţa secolului al XVIII-lea. Atomistica acestui secol desenase ierarhia particulelor discrete ale substanţei, dar atribuia tuturor verigilor acestei ierarhii legi de acelaşi tip.

Ştiinţa secolului al XIX-lea a descoperit legi de tip diferit ale lumii. Ea a aflat că legile comportării unor mari mase de molecule nu se reduc la legile propriu-zis mecanice care guvernează mişcarea unei molecule individuale, că în lumea moleculelor individuale noţiuni macroscopice ale teoriei căldurii, cum este cea de temperatură, îşi pierd sensul. Ea a aflat că pentru

specii există legi de selecție statistice, deosebite de legile care determină variabilitatea organismelor. Se înțelege că legile macroscopice ale termodinamicii își pierd sensul în lipsa legilor microscopice ale mecanicii moleculelor, iar legile macroscopice ale selecției își pierd sensul fără legile care determină variabilitatea și ereditatea.

Faptul că realizarea concretă a programului laplaceian de cunoaștere absolută a lumii predeterminate s-a lovit de specificitatea formelor de mișcare, a arătat (firește că aceasta se poate constata numai retrospectiv) că apare un tablou al lumii, cu legi specifice pentru diferitele forme de mișcare. Acest tablou al lumii a fost zugrăvit în secolul al XIX-lea și și-a găsit caracteristica generalizată și exactă în *Dialectica naturii*. Petele albe ale determinismului mecanicist al lui Lagrange și Laplace — necesitatea unor ipoteze speciale referitoare la condițiile inițiale, lipsa unei explicații cauzale a finalității din natură — prevesteau o situație în care legile naturii nu vor putea fi reduse la legile deplasării mecanice.

CAPITOLUL XI

PRINCIPIUL CONSERVĂRII ENERGIEI

Principiul conservării energiei a fost ideea pivot în noua imagine ştiinţifică despre lume din secolul al XIX-lea, care se deosebea esenţial de determinismul laplaceian şi în genere de ideile fundamentale ale secolului precedent. Ideea de bază din tabloul ştiinţific al lumii pe care l-au zugrăvit secolele al XVII-lea—al XVIII-lea era aceea a *omogenităţii spaţiului*. Mişcîndu-se în spaţiu, particula îşi conservă viteza, dacă alte particule nu interacţionează cu ea. Spaţiul în sine nu poate acţiona asupra particulei în mişcare; în spaţiu nu există puncte preferenţiale şi mişcarea are un caracter relativ. Dacă particula, datorită interacţiunii cu alte particule, a căpătat un impuls (adică a fost supusă, în decursul unui anumit timp, la acţiunea unei forţe) şi o anumită viteză, atunci viteza şi, corespunzător, impulsul (impulsul este egal cu produsul dintre viteza şi masa particulei) se conservă pînă cînd particula nimereşte iarăşi într-un cîmp de forţe. Spaţiul nu modifică impulsul; numai interacţiunile corpurilor pot schimba ceva în starea Universului, accelerînd sau încetinind mişcarea particulelor care îl constituie. De aceea, cunoscînd condiţiile iniţiale, care determină interacţiunea particulelor — poziţiile şi vitezele lor — putem prevedea într-un mod univoc toate stările ulterioare ale Universului.

O idee importantă, care a completat dar a şi complicat această concepţie, a fost cea a *omogenităţii timpului*. Omogenitatea timpului îşi găseşte expresia nu în

constanța impulsului, ci a unei alte mărimi fizice, energia, care nu mai este proporțională cu viteza, ci cu pătratul acesteia. Cea mai importantă proprietate a energiei este că ea se conservă atunci cînd mobilul se oprește, adică atunci cînd corpul trece la viteza nulă.

Reamintim cîteva definiții referitoare la conservarea energiei. Ca măsură a energiei poate servi *lucrul mecanic*. În cazul mișcării unui corp sub acțiunea unei forțe, se efectuează un lucru egal cu produsul dintre forță și deplasarea corpului. Acest produs nu depinde numai de valorile absolute ale forței și deplasării, ci și de orientarea lor. O forță care acționează perpendicular pe direcția deplasării nu efectuează un lucru. O forță care acționează în sens opus deplasării sau sub un unghi obtuz față de direcția mișcării efectuează un lucru negativ. Dacă avem în față un sistem de corpuri care-și schimbă configurația sub acțiunea forțelor interne, adică în urma interacțiunii corpurilor, atunci lucrul pozitiv efectuat de forțe conduce la cheltuirea rezervei inițiale de lucru. De exemplu, un sistem format din Pămînt și din corpurile grele aflate la suprafața sa posedă o anumită rezervă de lucru, care se cheltuiește în cadrul căderii corpurilor. În cazul unei astfel de căderi, forța de gravitație execută un lucru egal cu *energia cinetică* pe care o dobîndește corpul în cădere la suprafața Pămîntului. Rezerva inițială de lucru, care depinde de înălțimea poziției corpului deasupra suprafeței terestre, este egală cu *energia potențială* a corpului ridicat la înălțime. În timpul căderii corpului, energia sa potențială se transformă în energie cinetică, fără ca suma lor să varieze. Dacă ridicăm din nou corpul la înălțimea sa anterioară, energia potențială se reface. Un pendul care se mișcă spre punctul său de cea mai mică înălțime, sub acțiunea forței de gravitație, este un exemplu de sistem în care energia potențială trece în energie cinetică. După aceea, mișcîndu-se mai departe, pendulul se înalță și forța de gravitație este îndreptată de data aceasta în sens opus mișcării sale, executînd un lucru negativ; rezultă că pendulul își pierde energia cinetică [în momentul cînd ajunge la punctul de maximă înălțime a sa] și capătă energie potențială. Dacă pendulul ar oscila fără frecare, el s-ar ridica la înălțimea inițială și energia sa potențială s-ar

reface complet. În sistemele asemănătoare cu cel descris aici se conservă energia mecanică totală, care este suma energiei potențiale și a celei cinetice. Chiar aici vedem legătura strînsă dintre conservarea energiei unui sistem și omogenitatea timpului. În adevăr, energia mecanică a sistemului se conservă în prezența cîmpurilor de forțe, cînd aceste cîmpuri nu variază în timp. De exemplu, cînd un pendul de fier este situat într-un cîmp magnetic, oscilînd deasupra unui magnet puternic, atracția magnetului mărește energia cinetică a căderii pendulului, dar, totodată, îi mărește și energia potențială atunci cînd pendulul se înalță, astfel că energia mecanică totală a sistemului „pendul-Pămînt" se conservă. Cînd însă cîmpul de forțe variază în timp (de exemplu, dacă pendulul oscilează deasupra unui magnet care este retras în momentele în care pendulul se mișcă în jos, sau dacă este situat deasupra unui electromagnet a cărui înfășurare se deconectează de la circuit în momentele de coborîre și se reconetează cînd pendulul se mișcă în sus), atunci energia mecanică totală a sistemului nu se conservă. Energia mecanică totală a sistemului nu se schimbă dacă forțele exterioare care acționează asupra lui sînt invariabile în raport cu timpul. Corespondența riguroasă dintre variația în timp a acestor forțe și variația energiei mecanice totale a sistemului arată că timpul ca atare nu participă la variația energiei. Aceasta este determinată integral de interacțiunea și de mișcarea corpurilor. Așadar, în conservarea energiei mecanice totale a sistemului se manifestă omogenitatea timpului.

După ce am reamintit aceste definiții, putem trece la punctul cel mai important al legăturii dintre conservarea energiei și omogenitatea timpului, la punctul în care noțiunea de energie iese din cadrul mecanicii. Această ieșire reală se produce permanent, în orice procese mecanice la care participă corpuri macroscopice: frecarea sau ciocnirea transformă mișcarea mecanică macroscopică într-o mișcare dezordonată a moleculelor, adică în căldură. Energia mecanică se transformă și în energia legăturilor chimice și în energia cîmpului electric și magnetic care, la rîndul ei, trece în energie mecanică.

Încă la Leibniz, noțiunea de energie (nu termenul „energie" care a avut o istorie proprie, ci noțiunea de măsură a mișcării, proporțională cu pătratul vitezei mobilului) era implicită, dar legată într-un mod incontestabil de ideea ierarhiei părților discrete ale substanței și a formelor de mișcare specifice, care le sînt inerente. Analizînd o ciocnire neelastică, Leibniz refuză în acest caz să constate distrugerea mișcării, ci vorbește despre distrugerea „forțelor". Mișcarea trece într-o formă specială. Dispariția mișcării corpurilor macroscopice înseamnă că ea s-a transformat în mișcarea unor particule invizibile. După cum spune Leibniz, în acest caz se produce ceva analog cu schimbarea unei monede mari în mărunțiș.

Leibniz nu cunoștea particularitățile specifice ale formelor de mișcare microscopică, respectiv echivalenții macroscopici nemecanici ai deplasărilor mecanice ale particulelor care constituie corpurile. El nu știa, dacă ar fi să continuăm comparația lui amintită mai sus cu banii, că operațiile cu mărunțișul se supun altor legi de circulație monetară. Dar în cazul de față, la fel ca și în multe altele, ideile matematice ale lui Leibniz au pregătit înțelegerea particularităților specifice ale mișcării moleculare. Știm acum că mișcarea moleculară se exprimă macroscopic prin efecte nemecanice, prin temperatura corpurilor, că nu avem nici posibilitatea, nici nevoia de a determina coordonatele și vitezele particulelor spre a măsura mișcarea moleculară, că mișcarea moleculară poate să treacă din nou în mișcare macroscopică a corpului dacă vitezele particulelor sînt distribuite în medie neuniform. Toate acestea au devenit cunoscute în secolul al XIX-lea. Dar un element important al acestor reprezentări din secolul al XIX-lea este ideea lipsei de importanță a mișcărilor moleculare individuale pentru legile care guvernează marile ansamble de particule, corpurile macroscopice. Această idee rezulta din interpretarea leibniziană a infinitezimalelor. Un fir de nisip este asimilat ca valoare cu zero în problemele unde figurează mișcarea Pămîntului. Particula microscopică este considerată drept lipsită de întindere în problemele de mecanică a corpurilor vizibile obișnuite. Leibniz nu cunoștea legătura dintre legile macroscopice și legile

mișcării particulelor microscopice. Această legătură a fost descoperită abia de Maxwell și de Boltzmann.

Ideile lui Maxwell și Boltzmann au fost pregătite de o îndelungată dezvoltare a reprezentărilor asupra mișcării moleculelor, care determină fenomenele termice. Astfel de reprezentări se pot întîlni în secolul al XVII-lea la Descartes și, într-o nouă formă, la gînditorii secolului al XVIII-lea, în particular la Lomonosov. La hotarul secolelor al XVIII-lea și al XIX-lea au fost găsite noi dovezi, foarte convingătoare, pentru natura cinetică a căldurii. Rumford (1753—1814) a observat degajarea de căldură la alezarea tunurilor. Davy (1778—1829) a provocat topirea gheții frecînd între ele două bucăți de gheață. Ceva mai tîrziu, au început cercetări sistematice asupra relației dintre dilatarea gazelor și variația temperaturii lor. Într-un număr considerabil de cazuri, aceste experimente au fost făcute în cadrul utilizării și studiului mașinilor cu vapori.

Legătura directă dintre teoria căldurii și tehnica aburului reiese din lucrarea lui Sadi Carnot (1786—1832), *Considerații asupra forței motrice a focului* (1824).

„Nimeni nu se îndoiește că drept cauză a mișcării poate fi căldura, că ea posedă chiar o mare forță motrice: mașinile cu vapori, atît de răspîndite astăzi, sînt o dovadă evidentă pentru aceasta" — sînt cuvintele cu care Carnot își începe *Considerațiile*. Urmează apoi o caracterizare a perspectivelor motoarelor cu aburi:

„Dacă vreodată îmbunătățirile mașinii termice vor merge destul de departe încît să ieftinească montarea și utilizarea ei, atunci ea va întruni toate calitățile dorite și va juca în industrie un rol a cărui importanță este greu de prevăzut, deoarece ea nu va înlocui numai motoarele existente astăzi în uz printr-un motor comod și puternic, care poate fi mutat și așezat oriunde, dar va da în același timp industriilor în care va fi utilizat o dezvoltare rapidă și va putea chiar să creeze noi ramuri de producție"[1].

Dar progresul ulterior al motoarelor cu aburi este împiedicat de lipsa unei teorii armonioase a acestor mașini. Nu era încă rezolvată problema „dacă forța motrice

[1] Vezi culegerea: *Al doilea principiu al termodinamicii*, ed. rusă, M.—L., 1934, p. 17.

a căldurii este mărginită sau infinită, dacă există o anumită limită a îmbunătăţirilor posibile, o limită pe care natura lucrurilor ne împiedică s-o depăşim, indiferent în ce mod, sau, dimpotrivă, dacă sînt posibile perfecţionări nelimitate"[1].

În *Consideraţiile asupra forţei motrice a focului* — una dintre cele mai importante lucrări de fizică ale secolului al XIX-lea — relaţia dintre căldură şi lucrul mecanic este interpretată din punctul de vedere al teoriei caloricului. Carnot ştia că se poate transforma căldura în lucru mecanic, dacă ea este distribuită neuniform în spaţiu, şi că ea trece de la corpul mai cald la cel mai rece. Această idee i-a sugerat lui Carnot ideea caloricului, care se revarsă dintr-un corp în altul. Mişcarea caloricului de la cazan (corpul fierbinte) la condensator (corpul rece) pune în mişcare pistonul maşinii cu vapori. Aşadar, mişcarea caloricului este izvorul mişcării pistonului. În teoriile mecanice din secolul al XVIII-lea se considera că izvorul lucrului mecanic este forţa vie a moleculelor. În termodinamica celei de-a doua jumătăţi a secolului al XIX-lea se vorbea despre consumul de căldură, măsurat în unităţi aflate într-o relaţie determinată cu unităţile de lucru mecanic. Carnot a pus în corespondenţă lucrul mecanic efectuat de maşină cu lucrul caloricului în mişcare, care trece din cazan în condensator. În construcţiile lui Carnot este mereu prezentă ideea imposibilităţii de a transforma căldura în lucru mecanic, fără o diferenţă de temperatură. Această idee de o genială profunzime şi care implica o mulţime de concluzii l-a condus pe Carnot la ideea caloricului. Dar el tatona şi alte căi. Nu după multe pagini ale *Consideraţiilor*, Carnot scrie despre o altă teorie a căldurii. De exemplu, întîlnim următoarea observaţie:

„Legea fundamentală pe care ne-am străduit s-o stabilim necesită, după părerea noastră, noi confirmări pentru a fi în afară de orice îndoială; ea se bazează pe teoria astăzi recunoscută a căldurii care, trebuie să mărturisim, nu ne apare ca avînd o fermitate de nezdruncinat. Problema va putea fi rezolvată numai prin noi experimente. Pentru moment, ne vom ocupa de apli-

[1] *Op. cit.*, p. 19.

carea ideilor teoretice expuse mai sus, considerîndu-le exacte, şi vom studia diversele procedee propuse pînă acum pentru dezvoltarea forţei motrice a căldurii"[1].

După moartea lui Carnot au fost publicate fragmente din jurnalele sale, în care a fost exprimată clar ideea naturii cinetice a căldurii, precum şi ideea conservării mişcării în cazul transformării căldurii în lucru mecanic şi invers.

„Căldura nu este altceva decît forţă motrice sau, mai exact, mişcare care şi-a schimbat forma, este o mişcare a particulelor corpurilor; oriunde se produce o anihilare a forţei motrice, apare concomitent căldură într-o cantitate riguros proporţională cu cantitatea de forţă motrice dispărută. Invers: întotdeauna cînd dispare căldură, apare forţă motrice. Aşadar, putem exprima principiul general: forţa motrice există în natură într-o cantitate constantă, propriu-zis ea nu este niciodată creată, niciodată distrusă, în realitate ea îşi schimbă forma, adică generează cînd un fel de mişcare, cînd altul, dar nu dispare niciodată"[2].

În jurnal, Carnot a determinat cu destulă precizie echivalentul mecanic al căldurii. După calculele sale, o calorie este echivalentă cu 370 kilogrammetri.

Principala linie de demarcaţie istorică ce separă noţiunea de energie din mecanică de noţiunea fizică generală de energie şi-a găsit loc în lucrările lui Mayer (1814—1878), apărute între anii 1841 şi 1851. Ele au pus bazele teoriei formelor de energie care trec una în alta, bazele unui nou tablou al lumii, a cărui unitate nu exclude legile specifice pentru fiecare serie de fenomene, ci le presupune.

Mayer a fost medic de marină. Anumite observaţii fiziologice întîmplătoare (i s-a părut că la tropice sîngele are o culoare mai închisă decît la latitudinile noastre) şi relatări tot atît de întîmplătoare, neclare şi incerte despre încălzirea apei mării în timpul cînd este agitată, l-au făcut să se gîndească la legătura dintre lucrul mecanic şi căldură. Aceste motive ocazionale nu au fost decît un impuls exterior. Ideea conducătoare în creaţia ştiinţifică a lui Mayer a fost ideea clară a

---

[1] *Al doilea principiu al termodinamicii*, p. 30.

[2] *Comptes rendus*, vol. 87, 1878, p. 967.

unității forțelor naturii. Ceea ce a spus Mayer despre unitatea forțelor naturii, forma în care și-a îmbrăcat descoperirile, concluziile pe care le-a tras din ele atestă că descoperirea legii conservării energiei a fost un eveniment al istoriei generale a științelor naturii; ea a fost pregătită de dezvoltarea ideilor generale ale științei și a devenit punct de plecare pentru sinteza științelor naturii.

Principiul fundamental al lui Mayer este principiul cauzalității. El este enunțat ca rezultat al dezvoltării ansamblului științelor naturii.

„Sarcina studiului naturii — scrie Mayer — constă în a cerceta fenomenele lumii organice ca și pe cele ale lumii anorganice, în relația dintre cauzele și efectele lor. Toate fenomenele și procesele se bazează pe faptul că corpurile modifică relația în care se află unul cu altul. În conformitate cu legea rațiunii logice, admitem că aceasta nu are loc fără cauză, iar această cauză o denumim forță"[1].

După Mayer, cauza unui proces dat este un alt proces, care îl precede în timp pe cel dat și este echivalent cu el pe plan cantitativ. Într-un anumit sens, cauza este egală cu efectul. Dacă, respectiv, cauza și efectul ei ar fi identice, ele ar coincide în timp și în spațiu, varietatea spațială și temporală ar deveni imposibilă și natura s-ar reduce la un singur punct și la o singură clipă. Așadar, cauza și efectul nu sînt identice; conexiunea cauzală leagă între ele evenimente care se produc la momente diferite, evenimente inegale sub raportul timpului. În mecanică, un moment se deosebește de altul prin poziția diferită în spațiu a punctelor materiale. Dar putem vorbi oare despre evenimente legate cauzal în cazul coincidenței punctelor în care au loc aceste evenimente? Putem vorbi oare despre evenimente legate cauzal într-un corp imobil? Fizica propriu-zisă lărgește noțiunea de conexiune cauzală și consideră o conexiune cauzală temporală, conexiunea dintre stările unui corp imobil.

Să ne închipuim un corp fix, a cărui temperatură scade fiindcă radiază. O analiză propriu-zis fizică a

---

[1] R. Mayer, *Legea conservării și a transformării energiei*, M., 1933, p. 61 (ed. rusă).

acestui proces ignorează micșorarea vitezelor moleculelor și nu reduce starea corpului la deplasările mecanice ale moleculelor. În procesul considerat, se schimbă energia internă a corpului, care nu este legată de impulsul său. Ideea de energie internă, care poate fi cauza mișcării mecanice macroscopice fiind totodată un rezultat al unei cheltuieli de mișcare mecanică, este o extindere a noțiunii de conexiune cauzală la starea internă a corpurilor.

Mayer pune față în față două procese. Primul este variația stării fizice a unui corp imobil, adică un proces fizic care se desfășoară în timp. Ca proces de acest fel figurează variația temperaturii unui corp, adică (în cazul în care căldura specifică rămîne constantă) variația cantității de energie termică pe care o cuprinde corpul. Al doilea proces este mișcarea corpului. Ce se conservă cînd trecem de la unul din aceste procese la celălalt? Ca exemplu al unei astfel de treceri servește ciocnirea neelastică a corpurilor. Corpul se mișcă, apoi s-a lovit de un obstacol și s-a oprit, cu care prilej temperatura sa a crescut. Ce s-a conservat în acest caz? Mărimea care se conservă la trecerea mișcării mecanice în căldură și invers a fost denumită de Mayer „forță". „Forța" lui Mayer caracterizează sub raport cantitativ, cauza și efectul, adică atunci cînd acestea sînt de natură diferită, de exemplu cînd cauza constă în mișcare, iar efectul este o schimbare de temperatură, sau invers. Acum, denumim această măsură energie. Numai corpurile în mișcare posedă impuls; în acest sens, energia este o noțiune mai generală, ea caracterizează atît corpurile în mișcare cît și pe cele imobile în care ignorăm deplasările interne, deci unde procesul de transformare are un caracter nemecanic și se produce numai în timp. Extinzînd noțiunea de „forță" la procese nemecanice, Mayer a introdus aceste procese în tabloul unitar al lumii.

Am expus ideea fundamentală a lui Mayer într-o formă pe care a căpătat-o abia ulterior. Să vedem acum în ce fel și-a dezvoltat concepția Mayer însuși.

În *Observații asupra forțelor naturii nevii* (1872), Mayer vorbește despre o greutate fixă în cîmpul gravitațional al Pămîntului. Această greutate este ridicată la o anumită înălțime, iar ridicarea ei a necesitat cheltui-

rea de „forță". În conformitate cu aceasta, greutatea posedă „forță". Greutatea se află la o anumită distanță de la suprafața Pămîntului, ceea ce creează posibilitatea de a obține un anumit lucru mecanic la căderea ei. Evident, „forța" lui Mayer se deosebește de forța lui Newton, de exemplu de forța de gravitație. Gravitația nu este cauza căderii, ea nu este capabilă să treacă într-o altă formă, deoarece ea generează mișcare fără a se micșora, iar reprezentarea de greutate ca fiind cauza mișcării ar face să dispară echivalența dintre cauză și efect. Lăsîndu-se în jos, greutatea rămîne la fel de grea, dar ea nu mai poate să cadă. Prin urmare, cauza căderii este diferența spațială dintre poziția unui obiect greu și poziția suprafeței terestre; altfel spus, cauza căderii ar fi ridicarea anterioară la înălțime a corpului. În cursul căderii, această diferență spațială dispare, „forța" trece în forma cinetică. Cînd corpul cade pe Pămînt, dispare și diferența spațială (adică dispare energia potențială a corpului) și forța sa vie (adică energia cinetică a corpului). „Forța" mecanică a corpului (energia mecanică totală) se transformă în căldură.

La sfîrșitul *Observațiilor despre forțele naturii nevii*, Mayer scrie că în lume există trei forțe: forța căderii, forța mișcării și cea a căldurii. Primele două (energia potențială și energia cinetică ale unui corp în cădere) sînt măsurate prin aceleași unități, anume kilogrammetrul, pe cînd căldura se măsoară în calorii. Trebuie să stabilim o relație de echivalență între unitatea mecanică, kilogrammetrul și calorie. În acest scop, Mayer ia valorile obținute empiric pentru căldura specifică a gazelor (cantitatea de căldură necesară pentru a încălzi 1 cm^3 de gaz cu 1°C) la presiune constantă și la volum constant. Pentru a mări cu 1° temperatura unui gaz este nevoie de o cantitate de căldură determinată. La presiune constantă, aceasta va provoca o creștere a volumului, adică va efectua un lucru mecanic. Acum, să ne închipuim că presiunea variază, iar volumul rămîne fix. În acest caz, va fi nevoie de o altă cantitate de căldură pentru a ridica temperatura gazului cu 1°. Diferența (în calorii) este echivalentă cu lucrul cheltuit în primul caz pentru mărirea volumului gazului. Așadar, cunoscînd căldura specifică a gazelor la presiune constantă și la volum constant, putem afla

numărul de calorii corespunzător lucrului mecanic, măsurat în kilogrammetri. Prin acest procedeu, Mayer a stabilit echivalentul mecanic al căldurii.

Mayer nu a folosit modele cinetice, el nu a vorbit nicăieri despre mișcarea moleculară și s-a mărginit la aspectul macroscopic. Căldura se transformă în lucru mecanic, lucrului mecanic îi corespunde un proces nemecanic, și Mayer lasă pe seama viitorului încercările unei interpretări cinetice a acestui proces nemecanic de variație a temperaturii.

În articolul *Mișcarea organică în legătura ei cu metabolismul* (1884), Mayer se referă la transformarea în căldură a mișcării mecanice în practica experimentală și de producție, iar apoi la trecerea inversă a căldurii în lucru mecanic, în mașinile cu vapori.

„De-a lungul mileniilor, omenirea s-a străduit să rezolve mereu aceeași problemă: să pună în mișcare o masă [aflată] în repaus prin mijloace ajutătoare ale naturii anorganice, mărginindu-se aproape exclusiv la utilizarea unor efecte mecanice date. Epocii moderne i-a revenit să adauge la forțele lumii vechi — aerul în mișcare și căderea apei — o forță nouă. Această nouă forță, a cărei acțiune o privesc cu uimire oamenii secolului nostru, este căldura"[1].

Mai departe, prin metoda indicată mai sus — compararea valorilor căldurilor specifice la presiune constantă și la volum constant — Mayer obține din nou echivalentul mecanic al căldurii. Ulterior, recurgînd la măsurători mai precise ale căldurii specifice, Mayer a obținut valoarea de 425 kilogrammetri, corespunzînd unei calorii.

În ultimele rînduri ale articolului *Mișcarea organică în legătura ei cu metabolismul*, Mayer opune ideea conservării energiei ficțiunii despre fluidele imponderabile.

„Oare n-ar fi cu totul fără sens să căutăm natura mișcării și a distanței spațiale dintre mase într-un fluid imponderabil, sau să căutăm a stabili alternativ existența cînd materială, cînd imaterială a unui același obiect?

Vom enunța un mare adevăr: «Nu există nici un fel de materii imateriale». Ne dăm foarte bine seama

[1] R. Mayer, *op. cit.*, pp. 97—98.

că luptăm împotriva unor ipoteze înrădăcinate și canonizate de cele mai mari somități, că vrem să alungăm din teoria naturii, o dată cu fluidele imponderabile, tot ce a rămas de la zeii Greciei, dar știm de asemenea că natura, în adevărul ei simplu, este mai mare și mai frumoasă decît orice creație a mîinilor omului, decît toate iluziile spiritului creat"[1].

Între 1840 și 1850 s-au făcut foarte multe lucrări experimentale care au demonstrat echivalența căldurii și a lucrului mecanic și au precizat echivalentul mecanic al căldurii. Deosebit de mare este importanța lucrărilor lui Joule (1818—1889), care a măsurat cantitatea de căldură degajată în circuitul unui generator electric, în procesul frecării unui lichid și în cel al rarefierii și comprimării aerului. Cercetările experimentale ale lui Joule arată limpede legătura dintre experimentele fizice de la jumătatea secolului al XIX-lea și studiul și perfecționarea mașinilor cu vapori. Descrierea experimentelor cu comprimarea și dilatarea gazelor este însoțită la Joule de următoarea observație:

„Principiile expuse au condus, desigur, la o familiarizare mai apropiată cu teoria corectă a mașinii cu vapori, deoarece ele ne-au dat posibilitatea de a evalua efectul termic al frecării aburului cînd trece prin diverse supape și țevi, precum și al frecării pistonului de pereții cilindrului; ele ne-au clarificat totodată că aburul pierde în timpul dilatării sale în cilindru o cantitate de căldură riguros proporțională cu lucrul mecanic efectuat"[2].

Totodată, în lucrările lui Joule se manifestă limpede legătura dintre experiment și ideile teoretice. Meyerson scrie despre experimentele lui Joule:

„Cînd experimentele au fost făcute, iar rezultatele lor... au fost în divergență, Joule, în loc să tragă de aici concluzia că acest raport nu era constant, ci variabil, a luat media, adoptînd această medie drept mărime reală a raportului menționat. Este clar că el era dinainte convins de constanța lui"[3].

---

[1] R. Mayer, *op. cit.*, p. 130.

[2] Vezi culegerea: *Intemeietorii teoriei cinetice a materiei*, ed. rusă, M.—L., 1937, p. 35.

[3] E. Meyerson, *Identitate și realitate*, S.Pb., 1912, p. 210.

În 1847, Helmholtz (1821—1894), prin comunicarea sa *Despre conservarea forței*, a încheiat o serie de lucrări care au condus la descoperirea principiului conservării energiei. Ideea fundamentală a acestei comunicări — existența unor cauze ultime ale proceselor fizice — constă în susținerea existenței unor conexiuni care nu pot fi reduse la alte conexiuni sau procese. După Helmholtz, aceste cauze ultime sînt forțele centrale de atracție și de respingere. Într-un sistem unde nu există alte forțe în afara forțelor centrale de atracție și respingere, lucrul mecanic efectuat la modificarea configurației particulelor este întotdeauna egal cu lucrul necesar pentru a reveni la aceeași configurație. Așadar, lucrul cheltuit pentru deplasarea particulelor reduce rezerva de lucru mecanic proprie configurației inițiale. Cînd particulele revin la configurația inițială, rezerva de lucru se reconstituie.

„În cazul de față, cantitatea de lucru care se obține cînd corpurile sistemului trec din poziția inițială în a doua poziție, și pentru trecerea lor inversă din a doua poziție în prima, cantitatea de lucru cheltuită este întotdeauna aceeași, indiferent de metoda, de drumul sau de viteza cu care are loc această trecere"[1].

Helmholtz a dat o definiție clară și precisă pentru energia potențială și cea cinetică a unui sistem și pentru energia totală. El nu a făcut ca principiul conservării energiei să iasă din cadrul mecanicii — aceasta o făcuse încă Mayer, în 1842 —, însă forma precisă pe care a căpătat-o la Helmholtz principiul mecanic al conservării energiei a contribuit la dezvoltarea lui în calitate de principiu universal al fizicii. Noțiunea de energie mecanică totală a unui sistem, adică de sumă a energiei sale potențiale și a celei cinetice, ne apropie mult de ideea celorlalte forme de energie. În anumite cazuri, energia mecanică totală a unui sistem se micșorează și se mărește, iar aceasta ne sugerează ideea energiei interne a sistemului. Helmholtz analizează ciocnirea neelastică și vorbește despre transformările energiei mecanice a unui corp în căldură. Helmholtz a introdus noțiunea de cantitate de căldură cuprinsă

[1] H. Helmholtz, *Über die Erhaltung der Kraft*, Berlin, 1847, p. 14.

într-un corp. Clausius a denumit această cantitate: energia internă a corpului.

În cursul celei de-a doua jumătăți a secolului al XIX-lea a avut loc sintetizarea disciplinelor fizice într-un sistem unic, bazat pe principiul conservării energiei. Această sinteză a avut un caracter principial diferit față de cel al încercărilor de a reduce diversele legi fizice și din alte domenii ale științelor naturii la legile mecanicii.

Tabloul lumii, construit în secolul al XIX-lea, în care mișcarea trece dintr-o formă într-alta, a fost definit în forma cea mai strălucită și cea mai profundă în lucrările filozofice ale lui Engels. În *Anti-Dühring* și în fragmentele cuprinse în *Dialectica naturii*, Engels expune și sintetizează ideile fundamentale ale noului tablou al lumii. În științele naturii din secolul al XIX-lea, fiecare concepție științifică este nemijlocit legată de alte concepții și ni se dezvăluie tocmai în această legătură. Nu schemele apriorice, ci nevoia internă a fiecărei teorii științifice impune cu insistență punerea în evidență a legăturilor ei cu alte teorii. Diversele discipline științifice nu mai pot rămîne componente independente ale concepției științifice generale asupra lumii.

„După cum o formă de mișcare se dezvoltă din alta, tot așa și imaginile lor, diferitele științe, trebuie să decurgă în mod necesar una din alta"[1].

Clasificarea științelor s-a transformat în teoria trecerilor reale de la o formă de mișcare la alta: mecanica studiază procesele care trec în procese propriu-zis fizice, ireductibile la cele mecanice, obiectele fizicii trec în obiectele mai complicate ale chimiei, iar apoi în obiectele și mai complicate ale lumii organice.

„*Clasificarea științelor*, dintre care fiecare analizează o formă particulară de mișcare sau un șir de forme de mișcare legate între ele și trecînd una într-alta, reprezintă astfel clasificarea, dispunerea conform succesiunii inerente lor, a înseși acestor forme de mișcare, și tocmai în aceasta constă importanța ei"[2].

---

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, p. 232.
[2] *Ibidem.*

Ştiinţele naturii din secolul al XIX-lea au revenit la reprezentarea de mişcare, ca schimbare în general. Fiecare disciplină din cadrul ştiinţelor naturii, studiind o anumită formă de mişcare concretă, întîlneşte aici elemente reductibile la legi mai generale — „forma secundară" — şi, paralel cu aceasta, „forma principală", legi care nu sînt reductibile la altele mai generale[1].

Tabloul legilor macroscopice şi microscopice, legate unele de altele, se arată a fi tabloul istoric al evoluţiei naturii. Vom trece acum la această reprezentare evolutivă.

---

[1] F. Engels, *op. cit.*, p. 230.

CAPITOLUL XII

PRINCIPIUL IREVERSIBILITĂȚII

Ideea ireductibilității legilor fizice la cele mecanice era implicată încă în studiul energiei. Principiul conservării energiei, în forma universală, depășind cadrul mecanicii pe care i-o dăduse Mayer, demonstra omogenitatea timpului și, după cum am mai spus, arăta existența de sine stătătoare a timpului, posibilitatea unor transformări pur temporale, a unor procese pur calitative, a varietății de stări diferite ale unui corp imobil.

Ireductibilitatea proceselor fizice la cele mecanice se manifestă în ireversibilitatea proceselor fizice. Emil Meyerson scrie că, pînă și în experiența de toate zilele, intuiția ireversibilității timpului este legată de observarea unor procese propriu-zis fizice. Dacă o locomotivă se va mișca înapoi, aceasta nu va stîrni nedumerire, dar dacă fumul se va condensa deodată și va fi din nou absorbit în coșul locomotivei, aceasta ni se va părea neverosimil[1].

Prima constatare a ireversibilității proceselor fizice a fost enunțată de Sadi Carnot, în lucrarea *Considerații asupra forței motrice a focului*, în noțiunile teoriei caloricului. Caloricul curge din corpul fierbinte în cel rece, iar mișcarea lui în sens invers, de la corpul rece la cel cald, adică mărirea diferenței de temperatură cere un consum de energie mecanică din exterior. În

[1] Vezi E. Meyerson, *op. cit.*, pp. 228–229.

Considerații asupra forței motrice a focului, această idee este formulată ca principiu al funcționării motoarelor cu aburi.

„Apariția forței motrice se datorește în mașinile cu vapori nu cheltuielii efective de caloric, ci trecerii sale de la un corp fierbinte la unul rece, adică restabilirii echilibrului său, echilibru care a fost perturbat dintr-o anumită cauză, fie ea o acțiune chimică, cum este arderea, sau una de altă natură"[1].

Dacă toate corpurile ar avea aceeași temperatură, ar fi imposibil să obținem lucrul mecanic. Generația următoare de fizicieni a adăugat doar un singur lucru acestei formule: „obținerea de lucru mecanic din căldură". Ea a renunțat la ficțiunea caloricului, la ideea căldurii ca substanță indestructibilă, idee pe care, cu rezervele citate mai sus, a împărtășit-o Carnot.

Generația următoare a revenit, mai ales în persoana lui Clausius (1822—1888), la vechea concepție atomistă a secolelor al XVII-lea — al XVIII-lea, considerînd căldura drept mișcare dezordonată a moleculelor. Această teorie cinetică a căldurii a fost sintetizată cu principiul lui Carnot. În lucrarea *Despre forța motrice a căldurii* (1850), precum și în *Teoria mecanică a căldurii* (1876), Clausius s-a străduit să deducă principiul ireversibilității din tabloul cinetic al mișcării moleculare dezordonate. Aici, el a trecut într-un mod cît se poate de firesc de la problemele motorului cu abur la problemele cosmologiei. Clausius arată cum căldura poate să treacă de la un corp rece la unul cald, însă pentru aceasta este nevoie de un *proces compensator*. La ce se referă Clausius? El consideră un motor termic care funcționează după un ciclu invers: i-am comunicat motorului forță mecanică din exterior și l-am transformat într-o mașină frigorifică. Prin cheltuirea lucrului mecanic, diferența de temperatură crește, căldura trece de la corpul rece la cel cald. Pentru aceasta însă, este nevoie de lucru mecanic și acesta se poate obține pe seama unui alt proces de nivelare a temperaturii. Fiecare caz de trecere a căldurii de la un corp mai rece, adică fiecare caz de creștere a neuniformității în distribuția căldu-

[1] Culegerea: *Al doilea principiu al termodinamicii*, ed. rusă, M.—L., 1934, p. 20.

rii, este compensat de un alt proces care micşorează neuniformitatea. Trecînd de la un proces la altul, ne convingem că în ansamblul lumii creşte uniformitatea distribuţiei căldurii între corpuri. Aceasta înseamnă că întregul Univers este supus unei evoluţii ireversibile, el trece de la o stare (de distribuţie relativ neuniformă a căldurii) la o altă stare şi nu poate reveni iarăşi la o stare deja parcursă. Clausius şi-a dat seama de deosebirea radicală dintre această concepţie evoluţionistă asupra lumii şi tabloul mecanic în care nu figurează decît procese reversibile.

„Adeseori avem ocazia să auzim — scrie el — că totul în lume se produce într-un ciclu închis. Şi, în timp ce într-un loc determinat şi într-o epocă anumită unele transformări se produc într-o direcţie, într-un alt loc şi într-o altă epocă se produc alte schimbări, în sens opus şi astfel, în general, se reproduc aceleaşi stări, iar starea lumii rămîne neschimbată, dacă privim lucrurile în ansamblul lor şi dintr-un punct de vedere general. Prin urmare, lumea poate continua să existe etern, în acelaşi mod. Cînd primul principiu fundamental din teoria mecanică a căldurii a fost formulat, el putea fi considerat, probabil, drept o confirmare strălucită a părerii amintite mai sus... Dar al doilea principiu fundamental din teoria mecanică a căldurii contrazice în modul cel mai categoric această opinie... De aici rezultă că starea Universului trebuie să varieze din ce în ce mai mult într-un sens determinat"[1].

În 1852, în articolul *Despre tendinţa generală spre disiparea energiei mecanice care se manifestă în natură*, William Thomson a introdus noţiunea de „moarte termică" a Universului.

Prin disiparea energiei mecanice, Thomson înţelege trecerea ei în căldură, distribuită uniform între corpuri şi incapabilă, de aceea, să treacă din nou în energie mecanică, fără un proces compensator.

„Reconstituirea energiei mecanice în cantitatea ei anterioară, fără disiparea ei într-o cantitate mai mult decît echivalentă, nu se poate realiza cu ajutorul unor procese cu obiecte neînsufleţite şi, probabil, nici nu se realizează vreodată cu ajutorul materiei organizate,

[1] *Al doilea principiu al termodinamicii*, pp. 133—134.

atît al celei înzestrate cu viaţă vegetală, cît şi al celei supuse voinţei unor fiinţe însufleţite"[1].

Pînă la urmă, căldura va fi distribuită perfect uniform între corpurile materiale, nu va mai fi diferenţă de temperatură, vor dispărea toate procesele legate de transformarea căldurii în energie mecanică şi determinate, în ultimă instanţă, de diferenţele de temperatură. O dată cu radiaţia solară, vor dispărea circuitul apei, mişcarea atmosferei şi viaţa de pe Pămînt.

Engels relevă caracterul contradictoriu al noţiunii de „moarte termică". Această noţiune contrazice principiul conservării energiei în forma sa pozitivă: teoria transformării formelor de energie[2]. Dacă pînă la urmă energia va trece într-o formă din care ea nu mai poate să treacă în altă formă, atunci ciclul transformărilor energetice se va opri. Ştiinţele naturii nu au găsit încă într-un mod clar factori cosmici care să mărească neuniformitatea distribuţiei căldurii şi să se opună astfel morţii termice. Dar aici trebuie să intre în acţiune principiul general al transformării infinite a energiei, al evoluţiei universale infinite. Acest principiu joacă, în cazul de faţă, un rol euristic esenţial, el îndeamnă ştiinţele naturii să caute o teorie univocă, compatibilă cu acest principiu şi care să-l concretizeze. Ştiinţele naturii care tind să se transforme într-un tablou unitar al lumii — şi aceasta a devenit tendinţa ştiinţei din secolul al XIX-lea — aveau nevoie de ipoteze a căror verificare să poată fi lăsată pe seama viitorului.

Nu cunoaştem un mecanism cosmic opus „morţii termice" a Universului, dar nu putem înceta de a căuta acest mecanism, iar dacă nu vrem să ne întoarcem la o legendă creaţionistă, trebuie „... să tragem concluzia că materia primă incandescentă din care s-au format sistemele solare ale insulei noastre cosmice a fost produsă pe cale naturală, prin transformări ale mişcării, transformări care prin *natura lor sînt proprii* materiei în mişcare şi ale căror condiţii vor trebui deci să fie reproduse de materie chiar dacă acest lucru se va întîmpla abia peste milioane şi milioane de ani şi în mod

[1] ***Al doilea principiu al termodinamicii***, p. 182.
[2] Vezi F. **Engels**, ***Dialectica naturii***, pp. 14—22, 267—269.

mai mult sau mai puțin întîmplător, dar cu acea necesitate care e inerentă și întîmplării"[1].

Boltzmann (1844—1906) a indicat mecanismul cosmic concret care se opune disipării energiei. El a găsit acest mecanism plecînd în cercetările sale de la concepția statistică asupra entropiei. Geneza acestei concepții a fost o parte din marea transformare a tabloului științific al lumii, transformare ce poate fi asemuită numai cu geneza explicației mecanice a naturii. Această transformare ne-a permis să înțelegem legătura reală dintre legile integrale și cele diferențiale ale existenței, ne-a condus la sinteza acestor legi, a înlăturat orice motive pentru teologie și creaționism, a făcut din tabloul lumii un tablou istoric al evoluției Cosmosului. Ne vom ocupa ceva mai tîrziu de alte elemente ale acestei transformări, în particular de elementul său cel mai important: apariția ideii de selecție naturală.

Chiar Clausius trecuse de la considerarea mecanicii moleculelor (adică a unor procese la care participă molecule individuale) la o reprezentare macroscopică, în care se ține seama de comportarea unor mari ansamble statistice, adică sisteme formate dintr-un număr practic incalculabil de molecule. Această trecere a fost realizată într-o formă mai distinctă de către Maxwell, care s-a străduit să stabilească o lege statistică a distribuției moleculelor după grupe, care diferă prin vitezele lor.

Această lege a fost descoperită în 1859. Ea definește *probabilitatea* unei anumite distribuții a moleculelor după diversele viteze. În legătură cu aceasta, Maxwell introduce noțiunea de legi dinamice și legi statistice. Primele definesc cu absolută precizie comportarea corpurilor, celelalte definesc probabilitatea unei anumite comportări a corpurilor care intră în ansamble mari, și deci comportarea acestor ansamble. La fiecare ciocnire dintre molecule, va fi mai probabilă o anumită egalizare a vitezelor. Aceasta nu înseamnă cîtuși de puțin că fiecare ciocnire ar conduce la o nivelare a vitezelor, însă în cazul unui mare număr de ciocniri vitezele se egalizează neapărat, iar în practică, acesta

[1] F. Engels, *op. cit.*, p. 20.

este rezultatul obligatoriu și sigur al acțiunii unei legi statistice.

Un sistem format dintr-un număr mic de particule nu se supune principiului ireversibilității. Să ne închipuim zece molecule care se mișcă în modul cel mai aleatoriu și dezordonat într-un vas format din două despărțituri. La un anumit moment, vitezele medii ale moleculelor vor fi egale în ambele despărțituri. La momentul următor, moleculele rapide se pot concentra într-o despărțitură, iar cele încete, în cealaltă. Aici nu există nici o evoluție ireversibilă de la o stare la alta. Cu totul alta este situația unei mulțimi de molecule care formează, de exemplu, o bară metalică. Cînd temperatura, adică viteza medie a moleculelor, este aceeași în toată bara, atunci este imposibil ca ea să se încălzească la un capăt și să se răcească la celălalt, de la sine, fără un proces compensator.

Teoria probabilităților a căpătat un prototip fizic amplu în concepția termodinamică a lui Boltzmann, enunțată între anii 1870 și 1890. Boltzmann a definit entropia ca măsură a probabilității unei anumite distribuții a vitezelor moleculelor și a arătat că, în medie pe o perioadă destul de îndelungată, această probabilitate crește. Natura ireversibilității constă în trecerea de la stări mai puțin probabile la altele mai probabile. Într-una din comunicările sale din 1886, la o ședință a Academiei de Științe de la Viena, Boltzmann pune întrebarea de ce nu conduc mișcările și ciocnirile aleatorii ale moleculelor la încălzirea unui capăt al unei bare metalice, adică la o concentrare întîmplătoare a moleculelor rapide în acest loc. Aceasta este tot atît de imposibil ca și sosirea simultană în aceeași piață a tuturor oamenilor care se plimbă fără țintă într-un oraș. Dacă asupra mulțimii de procese „microscopice" individuale nu acționează o cauză „macroscopică", în stare să modifice probabilitățile acestor procese, respectiv dacă probabilitatea orientării diferite a proceselor microscopice individuale este aceeași, în cazul în care numărul acestor procese este destul de mare, atunci nu vom descoperi o neuniformitate nici în procesele macroscopice. Avem de-a face cu „un vid macroscopic". Dacă o astfel de neuniformitate macroscopică, adică o abatere de la dezordonarea totală, cu alte cu-

vinte, dacă o anumită „ordonare" s-a produs înainte sub acțiunea unor cauze macroscopice care au tulburat simetria probabilităților proceselor individuale, atunci, o dată cu dispariția acestora, dispare treptat ordonarea macroscopică, iar sistemul evoluează spre starea dezordonată cea mai probabilă, de exemplu spre distribuția în medie uniformă a vitezelor moleculelor în corpul macroscopic.

Transformarea căldurii în energie mecanică cere ca marele număr de molecule care formează corpul macroscopic să se miște în același fel. O astfel de mișcare ordonată este improbabilă, dacă luăm în considerare tabloul mișcărilor și al ciocnirilor aleatorii ale moleculelor în lipsa unor condiții macroscopice care să strice simetria probabilităților mișcărilor moleculare. Premisa transformării căldurii în lucru mecanic este o anumită rezervă de „improbabilitate", o distribuție neuniformă a vitezelor moleculelor și trecerea de la această stare improbabilă la o distribuție uniformă mai probabilă. Această trecere este ireversibilă, dacă nu există o altă rezervă mai mare de „improbabilitate", care să fie consumată pentru crearea unei diferențe de temperatură. Boltzmann spune: „Temperatura se niveleză, dar dacă vom alege o cale ocolită, vom putea folosi improbabilitatea existentă în distribuția energiei, obținînd pe seama ei alte forme de energie, improbabile, care nu s-ar putea forma de la sine. La trecerea căldurii de la un corp mai fierbinte la altul mai rece, am putea transforma o parte a căldurii care trece într-o mișcare vizibilă sau într-un lucru mecanic, ceea ce are loc în mașinile cu abur și în toate mașinile termice. Același lucru este posibil de fiecare dată, în cazul în care distribuția energiei nu corespunde inițial legilor de probabilitate, de exemplu cînd corpul este mai rece decît mediul înconjurător, cînd într-un loc din vas moleculele sînt mai îngrămădite, iar într-un altul mai risipite etc."[1].

Să ne închipuim, ca situație inițială într-o anumită parte din Univers, o neuniformitate considerabilă în distribuția temperaturii, o anumită stare „improbabilă"

[1]Vezi culegerea: *Filozofia științei*, partea I, M. — Pg. 1923, p. 152.

și, de aceea, neechilibrată a respectivei părți din Univers. Ca exemplu pot servi temperatura înaltă a Soarelui și temperatura joasă a planetelor sistemului solar. Micșorarea diferențelor de temperatură — datorită faptului că Soarele radiază, — schimbă condițiile de pe Pămînt și determină limitele între care poate avea loc dezvoltarea vieții organice pe suprafața acestuia.

„Tendința de nivelare a temperaturii dintre cele două corpuri, determinată de tendința către o probabilitate mai mare, durează milioane de ani din cauza imenselor lor dimensiuni și a distanțelor dintre ele. Formele intermediare, pe care le ia energia solară pînă cînd se degradează la temperatura pămîntului, pot fi forme de energie destul de improbabile și putem folosi ușor trecerea căldurii de la Soare la Pămînt pentru efectuarea unui lucru mecanic, cum este trecerea apei de la cazanul cu abur la răcitor. De aceea, lupta universală pentru existență a ființelor vii nu este o luptă pentru elemente componente — elementele componente ale tuturor organismelor există din abundență în aer, în apă și în interiorul Pămîntului — și nici pentru energie, deoarece aceasta este conținută din abundență în orice corp, din nefericire sub forma unei călduri netransformabile. Ea este o luptă pentru entropie, care poate fi folosită în trecerea energiei de la Soarele fierbinte la Pămîntul rece. Pentru a folosi cît mai bine această trecere, plantele întind suprafața incomensurabilă a frunzelor lor și silesc energia solară, înainte ca aceasta să scadă pînă la nivelul temperaturii suprafeței terestre, să efectueze o sinteză chimică, într-un mod necercetat încă pînă acum, despre care nu avem încă nici o idee în laboratoarele noastre. Produsele acestei bucătării chimice constituie obiecte ale luptei din lumea animalelor"[1].

Nivelarea temperaturii în sistemul solar determină evoluția ireversibilă a vieții pe Pămînt. Dar ce determină „de sus" procesul nivelării temperaturii în sistemul solar și, în genere, în partea de Univers care ne este cunoscută? În partea pe care o cunoaștem din Univers, procesele evoluează de la stări mai puțin probabile la altele mai probabile, iar dacă undeva evoluția are loc în sens opus, aceasta este compensată de un

[1] *Filozofia științei*, pp. 155—156.

proces mai puternic de nivelare a temperaturii, adică de un proces de trecere la o stare mai probabilă. De unde a provenit însă această „improbabilitate" inițială, această distribuție neuniformă originară a temperaturii, și la ce va conduce lichidarea „improbabilității", nivelarea temperaturii?

Boltzmann și-a dat seama de caracterul logic contradictoriu al morții termice și a indicat chiar procesele concrete care creează rezerva de „improbabilitate" și restabilesc neuniformitatea distribuției temperaturii în Univers. Boltzmann recurge la noțiunea de fluctuație. Această noțiune este fundamentală în statistică. Fie dat un mare număr de rezultate pur aleatorii ale unor procese „microscopice" individuale, independente unul de altul. Pentru a nu ne abate de la exemplele tradiționale, să luăm un mare număr de aruncări ale unei monede, în care cad capul și stema. Distribuția cea mai probabilă a acestor rezultate este egalitatea lor, iar la un milion de aruncări, capul și stema se vor obține cam de același număr de ori. Dar în seriile cu un număr de probe relativ mic, de exemplu în cazul a zece probe, nu vom avea o astfel de egalitate; se poate întîmpla chiar să ne cadă de zece ori la rînd stema și putem avea cazuri analoge în care rezultatul să fie capul. Astfel de cazuri de abatere de la distribuția uniformă se pot produce în cele mai variate ansamble statistice. Fie Universul un astfel de ansamblu, iar micile părți ale ansamblului, în care pot avea loc fluctuații, să fie părți din Univers de dimensiuni comparabile cu ale grupului de galaxii pe care-l cunoaștem. În aceste domenii relativ mici pot apărea fluctuații, perturbări în distribuția neuniformă a temperaturii. Dacă o astfel de distribuție are o probabilitate egală cu o milionime, atunci într-un Univers format din miliarde de galaxii, se vor produce astfel de fluctuații „improbabile", care afectează o galaxie întreagă sau chiar o regiune mai mare. Pentru Univers, o astfel de regiune este o regiune mică în care sînt posibile fluctuații.

După apariția unei astfel de fluctuații, legile statistice conduc la o nivelare a temperaturii, dar aceasta nu dovedește tendința ireversibilă spre moartea termică a întregului Univers infinit.

În teoria lui Boltzmann, întregul Univers se află

în stare de echilibru și nu suferă o evoluție ireversibilă. Unei astfel de evoluții îi sînt supuse părți de Univers: galaxii sau grupuri de galaxii, în care fluctuațiile au perturbat echilibrul termic. Potrivit cu aceasta, teoria lui Boltzmann nu cuprinde o lege macroscopică care să îmbrățișeze Universul ca pe un întreg (adică o regiune în comparație cu care regiunile de fluctuații cosmice să fie mici) și care să-i definească evoluția. O astfel de idee a apărut abia în secolul al XX-lea. În prezent nu există încă o soluție clară a problemei legilor ultramacroscopice (îmbrățișînd întregul Univers) care să definească evoluția lumii în întregul ei. Această problemă a fost formulată și ne putem imagina mai mult sau mai puțin concret ce înseamnă, propriu-zis, expresia „evoluția lumii în întregul ei". Nu este vorba despre o soluție univocă, ci doar despre ilustrări care dau o formă mai concretă unora dintre ipotezele actuale. De exemplu, după 1930, Tolman, plecînd de la ipoteza unui Univers finit și cu expansiune în cursul timpului, a presupus că Universul în expansiune poate suferi o creștere permanentă a entropiei, fără a ajunge vreodată la moartea termică.

Vrem să subliniem particularitatea fundamentală a concepției lui Boltzmann și, în general, a concepției statistice privind interpretarea principiului creșterii entropiei. Este vorba aici despre legile statistice ale comportării unor ansamble formate din molecule. Din întreaga ierarhie a particulelor discrete ale substanței, fizica moleculară studiază două verigi: molecula și ansamblul statistic, constituit dintr-un mare număr de molecule. Molecula este considerată ca o particulă avînd numai proprietăți mecanice. Nu se ține seama de compoziția ei (adică de proprietățile ei chimice). În teoriile statistice ale secolului al XIX-lea, molecula este ceva imuabil din punct de vedere calitativ. Schimbările calitative sînt rezultatele macroscopice ale unui mare număr de deplasări moleculare. Mecanica moleculelor se află ca un substrat inalienabil la baza proceselor calitative. De aceea, și evoluția lumii apare, în cadrul fizicii moleculare, ca un proces care cuprinde transformări calitative ireversibile ale energiei, ireductibile la mecanică, dar în regiunile microscopice evoluția se reduce la procese reversibile ale mecanicii moleculelor.

CAPITOLUL XIII

TEORIA EVOLUȚIONISTĂ A LUI DARWIN

În 1859 a văzut lumina tiparului cartea lui Charles Darwin (1809—1882) *Originea speciilor*. În 1868, Darwin a publicat lucrarea *Variabilitatea plantelor și animalelor în stare domestică*. Aici sînt strînse observații care arată că selecția artificială permite modificarea între limite foarte largi a însușirilor unei specii. În fiecare nouă generație, selecționînd succesiv indivizii care se apropie de anumite condiții dinainte stabilite, se poate obține o rasă considerabil diferită de cea inițială. La trei ani după apariția cărții *Variabilitatea plantelor și animalelor în stare domestică* a fost publicată lucrarea *Originea omului și selecția sexuală* (1871).

Aceste trei lucrări sînt trepte legate între ele pe plan istoric și logic în dezvoltarea teoriei selecției naturale. Prima carte — *Originea speciilor* — dă soluția generală a problemei și cuprinde principalele dovezi în favoarea noii teorii, care puteau fi obținute din observarea lumii organice. A doua carte — *Variabilitatea plantelor și animalelor în stare domestică* — analizează selecția artificială, căreia îi corespund procesele spontane ale selecției naturale. În sfîrșit, în a treia carte — *Originea omului și selecția sexuală* — Darwin concretizează teoria selecției naturale, aplicînd-o celei mai importante probleme din domeniul vieții organice.

În anii următori, Darwin s-a ocupat mai ales de cercetări de botanică, în care a dezvoltat și a concretizat ideea selecției naturale. El a stabilit rolul și originea

organelor de captură și de digerare a insectelor la așa-numitele plante carnivore. Darwin a arătat, de asemenea, în cercetări speciale, că însușirea ce o au plantele de a se mișca nu este proprie numai plantelor agățătoare, ci și altor (plante) specii vegetale.

Darwin a scris apoi mai multe studii despre polenizarea încrucișată a florilor. Aici sînt culese unele dintre cele mai uluitoare exemple de adaptare a florilor în vederea polenizării prin intermediul insectelor, și exemple de adaptare apărută ca rezultat al selecției naturale.

Darwin este autorul unui număr foarte mare de lucrări de specialitate. Aceste lucrări de specialitate, experimente și observații empirice ale lui Darwin constituie fundamentul indispensabil al teoriei originii speciilor. Amploarea și caracterul universal al acestei concepții explică varietatea și imensul material cuprins în lucrările de specialitate ale lui Darwin. Noua teorie a putut să devină atît de repede baza dezvoltării ulterioare a științei, deoarece creatorul ei a verificat personal rezultatele, efectele selecției naturale pe un material imens, explicînd un uriaș număr de fapte pe baza noii concepții. Darwin nu s-a mărginit să enunțe o nouă idee evoluționistă, cum făcuseră mai mulți dintre predecesorii săi, ci a creat totodată o teorie evoluționistă clară.

Caracterul univoc al acestei teorii nu este legat numai de proporțiile fundării ei empirice, ci și de reprezentările cît se poate de distincte asupra limitelor sferei de fenomene pe care le explică selecția naturală. Această limită a devenit deosebit de aparentă în cursul dezvoltării ulterioare a darvinismului. Darwin însuși a înțeles însă că selecția naturală determină evoluția lumii organice în *condiții exterioare date* ale mediului de trai al speciilor animale și vegetale și în prezența unor *legi de variabilitate și ereditate* bine determinate. Darwin știa că mecanismul eredității și al variabilității este supus altor legi: acesta nu poate fi dedus din selecția naturală, la fel cum, de exemplu, mecanismul concret al ciocnirilor dintre molecule nu poate fi dedus din legile statistice ale termodinamicii.

În secolul al XIX-lea — și aceasta îl deosebește esențial de secolul precedent — se știa deja că diversele legi ale naturii au domenii de aplicabilitate determinate, specifice, că în afara acestor domenii respectivele legi

încetează de a mai acționa. Clausius, Maxwell și Boltzmann știau că legea entropiei își pierde sensul cînd trecem la un număr mic de molecule. Darwin își dădea seama că legile statistice ale selecției naturale nu fac decît să definească probabilitatea dezvoltării diverșilor indivizi, fără a putea să explice mecanismul variabilității și al eredității.

Înțelegerea aplicabilității limitate a concepțiilor științifice, specifică pentru secolul al XIX-lea, s-a manifestat nu numai în conținutul literaturii științifice, în concepțiile științifice, ci și în stilul de gîndire al cercetătorilor naturii, în atitudinea lor față de știință, în ansamblul profilului savanților din secolul al XIX-lea. Cercetătorii naturii din secolul al XIX-lea, în majoritatea lor, erau departe de gîndul că legile descoperite de ei ar fi universal aplicabile. Observația și experimentul trebuie să contureze domeniul de aplicabilitate al fiecărei legi și căile îmbogățirii conținutului ei pentru fiecare nouă serie de fenomene. Aceasta este baza particularităților caracteristice ale gîndirii științifice din secolul al XIX-lea. Alături de geniile sintezei teoretice abstracte și de genialii culegători și sistematizatori de fapte, au apărut savanți la care însuși conținutul gîndirii generalizatoare determina dinainte proporțiile uriașe ale fundării ei empirice. Creația lui Darwin a fost un model clasic pentru acest tip de creație științifică. Darwin s-a străduit mereu să verifice concluziile teoriei prin sute de noi observații în domeniul botanicii și cel al zoologiei. Totodată, el era profund convins de valabilitatea absolută și universală a tratării cauzale a naturii în ansamblul ei.

Ideea conexiunii cauzale în natură și tendința de a interpreta cauzal finalitatea au apărut la Darwin încă în tinerețea sa. Călătoriile i-au îmbogățit ideile asupra variabilității și unității speciilor animale și vegetale, iar mecanismul cauzal al filogenezei a fost descoperit pe baza observării selecției naturale. Momentul culminant în crearea biologiei evoluționiste a fost intuiția genială că selecția artificială poate servi drept prototip al variației spontane, excluzînd orice scop conștient al speciilor în direcția unei adaptări maxime a structurii lor la mediul de viață. Astfel de apropieri surprinzătoare constituie un adevărat secret al geniului. K. A. Timireazev scrie:

„Mulțimii îi place să demaște acest proces al creației științifice; ea își închipuie că-l poate lua pe geniu prin surprindere, în procesul însuși al creației, explicîndu-l printr-o anumită întîmplare mecanică exterioară. Ea se minunează la catedrala din Pisa, în fața candelabrului care i-a dezvăluit lui Galilei legile fundamentale ale mecanicii, ea povestește mereu anecdota cu mărul care i-a dezvăluit lui Newton legea gravitației, iar la aceste legendare candelabre și mere se va adăuga, probabil, cu timpul vreun staul care i-ar fi dezvăluit lui Darwin legea selecției naturale. Toate acestea sînt poate adevărate, dar este tot atît de adevărat că și înaintea lui Newton au căzut mere, că grădinarii și crescătorii de vite au obținut noi soiuri și înaintea lui Darwin, dar abia în creierul lui Newton, abia în creierul lui Darwin a avut loc acest salt, în aparență irațional, al gîndirii care trece de la corpul în cădere la planeta ce plutește în spațiu, de la procedeele empirice ale crescătorilor de vite, la legile care cîrmuiesc întreaga lume organică. Această facultate de a intui, de a sesiza analogia ce scapă minților obișnuite constituie tocmai apanajul geniului"[1].

În cazul de față, analogia a reunit activitatea rațională conștientă, îndreptată spre modificarea formelor animale și vegetale, cu o lege spontană a naturii, fără a-i atribui acesteia din urmă nici un fel de finalitate în sensul direct al acestui cuvînt, adică fără a identifica legea spontană cu activitatea conștientă, fără a introduce în natura spontană nici un fel de factori care acționează rațional.

Curînd după publicarea *Originii speciilor*, Engels îi scria lui Marx: „În acest domeniu, teleologia nu era încă distrusă. Acum aceasta s-a făcut"[2]. Curînd, Marx a citit și el cartea lui Darwin și i-a scris despre ea lui Lassalle că „. . . aici s-a dat pentru prima oară o lovitură de moarte «teleologiei» în științele naturale, stabilindu-se totodată empiric semnificația ei rațională"[3].

---

[1] K. A. Timireazev, *Opere*, vol. VII. M., 1939, p. 61. (ed. rusă).

[2] K. Marx—F. Engels, *Opere*, vol. XXV, M.—L., 1929, p. 468. (ed. rusă).

[3] *Ibidem*. 1936, p. 377

Distrugerea teleologiei s-a bazat pe stabilirea sensului raţional al „teleologiei", adică pe o explicaţie pur cauzală a finalităţii. Prin aceasta a fost rezolvată una dintre cele mai dificile probleme ale ştiinţelor naturii. Ea a fost rezolvată de noua interpretare a întîmplării şi a necesităţii prin stabilirea legăturii dintre întîmplător şi necesar, prin reprezentarea necesităţii ca rezultat macroscopic al selecţiei unor procese aleatorii, prin reprezentarea legilor macroscopice care definesc *probabilitatea* proceselor microscopice şi prin noţiunea de mari ansamble statistice, în a căror comportare *probabilitatea* se transformă în certitudine. Ierarhia proceselor de masă, macroscopice, pe de o parte, şi a proceselor individuale, microscopice, precum şi a legilor care le guvernează, pe de altă parte, din punctul de vedere al istoriei *generale* a ştiinţelor naturii constituie un fundament deosebit de important al darvinismului. Amintim din nou că prin procese microscopice nu înţelegem aici pe cele observate cu ajutorul microscopului, ci stările individuale ale organismelor. Această ierarhie, strîns legată de ideile ştiinţifice fundamentale ale secolului al XIX-lea, a permis ca procesele microscopice aleatorii să fie încadrate în imaginea cauzală generală a naturii. Legile macroscopice sînt legile selecţiei unor procese microscopice aleatorii, care, în ansamblu, dau un rezultat aflat în concordanţă cu legea macroscopică, şi, în acest sens, el este necesar. Procesele microscopice întîmplătoare, ca atare, pot conduce la rezultate „raţionale", dar tot microscopice; bunăoară, cîteva semne tipografice căzute din întîmplare pot forma un cuvînt care, în mod obişnuit, este rezultatul activităţii raţionale a unui zetar. Dar procesele aleatorii fără selecţie macroscopică nu pot conduce la un rezultat general raţional pentru *un mare număr* de asemenea procese. Rousseau scria despre încercările de a explica finalitatea din natură prin acţiunea unor factori aleatori: „Dacă va veni cineva să-mi spună că litere tipografice risipite la întîmplare s-au aşezat astfel încît să formeze *Eneida*, nu voi face nici măcar un pas pentru a verifica această minciună"[1].

Ştiinţa secolului al XIX-lea a arătat că procesele microscopice întîmplătoare pot conduce la un rezultat

[1] Apud: K. A. Timireazev, *op. cit.*, p. 309.

macroscopic univoc, necesar. Pentru istoria generală a științelor naturii este esențială problema elementului nou pe care l-a introdus darvinismul în această idee științifică generală, laturile noi ale acestei idei, pe care le-a dezvoltat Darwin, deosebirea dintre concepția legii statistice la Darwin și concepțiile statisticii moleculare.

În lucrările sale consacrate expunerii, apărării și dezvoltării darvinismului, K. A. Timireazev a recurs la analogii din domeniul fizicii. Cînd antidarviniștii au susținut că selecția, care depinde de starea întîmplătoare a organismelor individuale, nu poate conduce la rezultate certe, Timireazev le-a răspuns printr-o referire la elasticitatea aburului: în adevăr, rezultatul univoc al ciocnirilor aleatorii dintre particulele din cazanul locomotivei îi permite călătorului din tren să conteze pe faptul că va ajunge la punctul de destinație[1]. Mai departe, Timireazev citează ca exemplu prezența apei în Volga, care se explică prin infiltrarea apei în sol. În fiecare punct în parte, ploaia poate să cadă sau să nu cadă. Fiecare picătură poate să se infiltreze sau să nu se infiltreze, în funcție de circumstanțe aleatorii, și totuși, acumularea unor astfel de procese întîmplătoare nu transformă existența apei din Volga într-un fenomen cu totul improbabil, ci, dimpotrivă, conduce la existența certă a fluviului.

Ideea legii statistice străbate întreaga știință. Astronomul, spune Timireazev, ține seama de caracterul aleatoriu al comportării particulelor de la suprafața Soarelui, dar nu se îndoiește de faptul că radiația solară este necesară și supusă unor legi bine determinate. Istoricul se ocupă de rezultatele determinate ale acțiunilor oamenilor, acțiuni care depind, în fiecare caz în parte, de o mulțime de cauze întîmplătoare[2].

La Darwin, transformarea întîmplării în necesitate era legată de *selecție*. Acest aspect al problemei este esențial pentru legile biologice și a fost pus în evidență cu deosebită claritate în biologie. La Darwin este vorba despre un ansamblu statistic de organisme — specia, și despre legile macroscopice care leagă evoluția speciei

---

[1] Vezi K. A. Timireazev, *op. cit.*, p. 316.

[2] *Ibidem*, p. 348.

de mediul în care trăiește. Legile macroscopice definesc probabilitatea stării diverșilor indivizi și, potrivit cu aceasta, probabilitatea ca variațiile individuale să intre în rezultatul macroscopic. Selecția variațiilor microscopice, corespunzătoare legii macroscopice, constituie cea mai importantă noțiune introdusă de biologia evoluționistă în ideea generală a ierarhiei legilor macroscopice și microscopice, care s-a dezvoltat în știința secolului al XIX-lea.

Ideea selecției rezolvă într-un mod nou problema legilor integrale și diferențiale ale existenței. La Aristotel, lumea era guvernată de legi integrale: distribuția locurilor naturale în spațiu, spre care tinde un corp ce se mișcă în spațiu, determină în ultimă instanță mișcarea acestui corp, iar schimbările calitative sînt determinate de „cauzele finale", adică de stările spre care tind corpurile în transformarea lor calitativă de-a lungul timpului. Aristotel nu a putut găsi mecanismul care leagă legile integrale de „cauzele eficiente", adică cele care acționează într-un punct dat și la un moment dat. Am văzut care a fost relația dintre condițiile integrale și „cauzele eficiente" în mecanică. Cîmpul de forțe determină comportarea unui corp în mișcare în fiecare punct și la fiecare moment. În termodinamică, condițiile integrale — căderea de temperatură — determină orientarea fluxului termic, compus din mișcări moleculare individuale. Din acest punct de vedere putem considera acum și procesul de adaptare a speciilor organice, adică cel produs cu ajutorul selecției variațiilor aleatorii. „Cauza eficientă" directă este constituită din aceste variații, însă cauzele eficiente se însumează parțial, de unde rezultă că ele parțial diverg și nu dau un rezultat de ansamblu. Se însumează astfel numai rezultatele corespunzătoare unei anumite legi integrale, respectiv cele care duc la stabilitatea maximă a rezultatului macroscopic total, cum ar fi, bunăoară, realizarea unei concordanțe maxime între caracterele anatomo-fiziologice ale speciei și condițiile ei de trai. Legea integrală — „cauza finală" — se realizează prin „cauzele eficiente" diferențiale.

Într-o schiță destinată cărții *Anti-Dühring*, Engels, criticînd concepțiile lui Haeckel, explică adevărata semnificație a noțiunilor de *„causa efficiens"* și *„causa fina-*

lis"[1]. Încă Hegel considerase că opunerea acestor noţiuni este perimată şi depăşită de ştiinţă. În teoria lui Darwin această contradicţie dispare. Totuşi, gîndirea metafizică tinde să o păstreze. Haeckel identifică „cauzele eficiente" (el le defineşte „cauze care acţionează mecanic") cu acţiunile inconştiente spontane, iar „cauzele finale" (el le denumeşte „cauze cu acţiune raţională"), cu activitatea conştientă. De aceea, selecţia artificială apare la Haeckel ca domeniu al „cauzelor finale", iar selecţia naturală — ca domeniu al „cauzelor eficiente". Engels vorbeşte despre caracterul arhaic şi metafizic al unor astfel de distincţii. În realitate, legile integrale, care nu au nimic comun cu o activitate conştientă şi conformă unui scop, sînt „cauzele finale" ce acţionează prin intermediul unui lanţ de variaţii individuale.

Din perspectiva istoriei generale a ştiinţelor naturii este important să subliniem că mediul care determină ce variaţii individuale anume dau efectul final, evoluează el însuşi în timp. Să comparăm din acest punct de vedere ideea selecţiei cu teoria statistică a lui Boltzmann. La Boltzmann, legea macroscopică a trecerii căldurii de la corpul fierbinte la cel rece este un rezultat al „improbabilităţii" existente iniţial şi al nivelării ei treptate. Apariţia „improbabilităţii" este considerată ca o fluctuaţie aleatorie într-un domeniu mic în comparaţie cu Universul. În teoria lui Darwin evoluţia vieţii organice nu este de loc o trecere spre starea de echilibru, care este cea mai probabilă. Aici se relevă mai curînd o stocare de „improbabilitate", adică este vorba despre existenţa unor specii notoriu neadaptate, care se transformă apoi în altele adaptate. În conformitate cu aceasta, nu avem de-a face aici cu un proces de desăvîrşire a filogenezei după care nu ar mai rămîne decît variaţii ontogenetice, adică abateri de la tipul normal care să fie lichidate de selecţia ce îndeplineşte funcţiuni de conservare. Asemenea idei pot fi comparate cu anumite concepţii biologice ale trecutului îndepărtat; în ceea ce-l priveşte pe Darwin însă, la el evoluţia este infinită prin însăşi esenţa ei. În tabloul unitar al evoluţiei lumii organice, condiţiile de trai evoluează şi ele, ceea ce duce la reproducerea continuă a stocului de „improbabilitate", de neadaptare.

[1] F. Engels, *Dialectica naturii*, p. 236.

Adaptarea speciei la mediu nu-şi atinge astfel un punct maxim, adică un corespondent al adaptării totale. Teoria lui Darwin pune în legătură evoluţia unei specii date cu evoluţia altor specii vegetale şi animale, cu variaţia climatului, cu variaţia distribuţiei apei pe Pămînt, cu evoluţia geologică şi, în ultimă instanţă, cu procesele cosmogonice. În această depăşire obligatorie a hotarelor biologiei, în această trecere inevitabilă la un tablou istoric unitar al lumii, avem o trăsătură caracteristică a darvinismului. Ea îi este proprie darvinismului, indiferent de faptul dacă creatorii noii concepţii biologice s-au ocupat sau nu de problemele evoluţiei Cosmosului.

Ne vom da seama de această trăsătură a darvinismului, examinînd şi mai îndeaproape deosebirile dintre ideile fundamentale ale lui Darwin şi atomistica lui Boltzmann.

Teoria fluctuaţiilor cosmice, după cum am văzut, nu consideră anumite legi cosmologice sau cosmogonice ale evoluţiei lumii infinite sau ale evoluţiei unui domeniu în comparaţie cu care distanţele intergalactice apar neglijabil de mici. Evoluează numai regiunile cuprinse de fluctuaţii, care trec de la stările „improbabile" iniţiale la stări mai probabile. În Univers nu există alte legi cosmice în afară de statistica moleculelor. Boltzmann nu îmbrăţişează în analiza sa vreun mecanism nefluctuant al evoluţiei cosmice, care, în acest sens, ar putea cuprinde o regiune mai vastă a „lumii ca întreg". Această limitare la evoluţia macroscopică *de sus* este legată de mărginirea tabloului boltzmannian *de jos*. În fizica statistică molecula este considerată drept ceva imuabil, care nu suferă transformări chimice capabile să-i schimbe comportarea. Acum cunoaştem unele aspecte ale evoluţiei chimice şi ale transmutaţiilor nucleare din stele şi galaxii, încît, fără a fi stabilit ceva precis în problema legăturii dintre evoluţia cosmică şi procesele microscopice atomice şi nucleare, admitem totuşi existenţa unei astfel de legături. Din acest punct de vedere, limitele „superioare" ale cosmologiei molecular-statistice, mărginirea ei la regiuni relativ mici ale fluctuaţiilor sînt legate de limitele „inferioare" ale fizicii moleculare.

Să revenim la teoria lui Darwin. Noţiunea de adaptare se deosebeşte de noţiunea relativ generală şi simplă de trecere la o stare mai probabilă. Adaptarea nu este de-

terminată de un „vid" statistic, adică de lipsa unor variații și neuniformități macroscopice, de echilibrul statistic perturbat numai de fluctuații locale. Adaptarea este determinată de anumite condiții macroscopice *variabile*, inclusiv geografice, geologice și, în ultimă instanță, cosmologice.

Cosmologia molecular-statistică a lui Boltzmann nu interzicea cîtuși de puțin construirea unor ipoteze despre ceea ce numim astăzi Universul în ansamblu. Ea interzicea cu atît mai puțin considerarea compoziției moleculelor. Dar, spre deosebire de concepția lui Boltzmann, la Darwin legătura dintre evoluție și mediul macroscopic mai vast, pe de o parte, și cu legile microscopice, pe de altă parte, este mult mai esențială.

Evoluția organică se bazează pe variabilitatea organismelor, pe ereditate și pe selecție care fac ca modificările ce sporesc probabilitatea supraviețuirii și înmulțirii să se moștenească, să se însumeze, iar în aceasta constă tocmai adaptarea speciei la mediul în care trăiește. Noțiunea de selecție nu poate fi separată de noțiunile de variabilitate și ereditate.

Apărîndu-l pe Darwin împotriva șicanelor lui Dühring, Engels vorbește despre relația dintre selecția naturală și variațiile individuale ale organismelor. Abaterile individuale formează punctul de plecare al analizei. Darwin pune și rezolvă o altă problemă: transformarea variațiilor individuale în evoluție a speciei. „Faptul că Darwin a atribuit descoperirii sale o sferă de acțiune exagerată, că a considerat-o pîrghia exclusivă a transformării speciilor și că a neglijat, de dragul formei în care se generalizează aceste transformări, cauzele repetatelor transformări individuale este o lipsă pe care Darwin o împarte cu majoritatea oamenilor care au înfăptuit un real progres"[1]. În afară de aceasta, Darwin este cel care a făcut să progreseze cercetările de fiziologie și i-a impus științei să se preocupe de problema originii variațiilor individuale în organism.

În capitolul al cincilea al *Originii speciilor*, Darwin analizează cauzele variabilității individuale a organismelor. „Pînă acum am vorbit uneori despre variații — atît

[1] Friedrich Engels, *Anti-Dühring*, E.S.P.L.P., București, 1955, p. 82.

de comune și de polimorfe la organismele domestice și mai puțin la cele în stare naturală — ca și cînd ele s-ar datora hazardului. Fără îndoială că expresia aceasta este cu totul incorectă, dar ea dă la iveală pe deplin ignoranța noastră cu privire la cauza fiecărei variații în parte"[1]. Se înțelege că lucrurile nu se reduc la necunoașterea cauzelor. Caracterul aleatoriu al variațiilor individuale în teoria filogenezei exprimă deosebirea obiectivă dintre legile variabilității și legile selecției. Dar în fraza citată ne interesează acum recunoașterea principială a caracterului legic al variațiilor individuale.

În capitolul al cincilea al *Originii speciilor,* Darwin demonstrează că însăși variabilitatea este legată de mediu. Nu avem voie să prezentăm lucrurile ca și cum organismele, independent de mediu, ar dobîndi într-un mod oarecare variații diferite, pe care i le-ar prezenta mediului, iar mediul nu ar face decît să le rebuteze, selecționînd cu acest prilej variațiile utile și nimicindu-le pe cele inutile împreună cu organismele care au suferit aceste variații inutile. În realitate, variațiile înseși constitue un rezultat al interacțiunii organismului cu mediul. În stare domestică, animalele au o variabilitate mai mare. La speciile de plante și animale sălbatice variabilitatea este mai mare la acelea care s-au răspîndit pe întinderi mari, unde au întîlnit condiții de viață pronunțat diferite. Prin urmare, variabilitatea este legată de condițiile de viață. Printre cauzele care contribuie la variabilitate, Darwin enumeră și exersarea organelor. Așadar, teoria selecției naturale conține ideea lui Lamarck, ca pe un element particular.

Din punctul de vedere al istoriei generale a științelor naturii trebuie subliniată amploarea teoriei lui Darwin și, dacă ne putem exprima astfel, funcțiunea ei de inițiator, influența pe care ea a exercitat-o asupra disciplinelor științifice mai mult sau mai puțin adiacente. Darwinismul a constituit fundamentul dezvoltării unor ramuri ale științelor biologice, cum sînt: anatomia comparată, fiziologia comparată, fiziologia activității nervoase supe-

[1] Charles Darwin, *Originea speciilor,* Editura Academiei R.P.R., 1957, p. 31.

rioare (I. M. Secenov, I. P. Pavlov), paleontologia evoluționistă (V. O. Kovalevski). Toate aceste legături sînt tratate în literatura de specialitate din domeniul istoriei biologiei.

Cît privește limita „superioară" a teoriei selecției naturale, aici nu a existat o influență atît de directă a acestei teorii asupra reprezentărilor privind dezvoltarea Pămîntului, a sistemului solar, a Galaxiei și a întregului Univers. Există, în schimb, o influență indirectă. Ideea evoluției Universului nu ar fi căpătat anumiți stimulenți de dezvoltare esențială, dacă în a doua jumătate a secolului al XIX-lea gîndirea științifică nu și-ar fi concentrat atenția asupra acestei idei, nu ar fi zugrăvit un tablou generalizat al procesului unitar de evoluție pentru natura anorganică și pentru cea organică. Acest tablou a constituit o importantă premisă istorică pentru concepția actuală asupra evoluției Cosmosului. Pentru a se concretiza în concepții mai bine precizate, teoria evoluției Cosmosului trebuia să depășească limitele generale ale explicației mecaniciste a naturii.

Fizica statistică a găsit limitele particulare care separă legile macroscopice propriu-zis fizice ale termodinamicii de mecanica moleculelor. Teoria lui Darwin și teoria celulară au descoperit legi biologice specifice. Dar nici termodinamica, nici teoria selecției naturale nu au contrazis ideea unor procese mecanice, concepute ca cele mai elementare procese naturale. Cărămizile Universului continuau să fie particule indestructibile, care se mișcă continuu pe traiectorii continue și posedă viteze determinate în fiecare punct. Ce-i drept, particularitățile arhitectonice ale Cosmosului nu erau reduse acum la așezarea cărămizilor ce-l constituie, însă rolul de cărămizi era atribuit unor astfel de particule, iar tabloul lumii, deși nu reducea legile existenței la legile mecanicii clasice, nici nu revizuia esența legilor mișcării acestor cărămizi existente la baza Universului. Sub acest raport, tabloul lumii rămînea mecanicist (deși nu mai reducea la mecanică formele complexe de mișcare) și clasic, deoarece păstra forma clasică pentru legile elementare ale mișcării.

În secolul al XX-lea a apărut o nouă reprezentare despre cărămizile Cosmosului. S-a constatat că acestea sînt particule identice cu sine, dar care nu posedă nici masă constantă, nici valori simultane absolut precise pentru coordonate și pentru viteze. Aceste particule s-au dovedit a fi părți ale atomului. Descompunerea atomului a constituit premisa unei noi imagini asupra lumii. La rîndul lor, părțile discrete ale atomului au fost descoperite în legătură cu dezvoltarea unei idei determinate, care a fost un rezultat istoric al dezvoltării științei clasice și, în particular, a chimiei atomiste. Ne referim la legea periodicității.

CAPITOLUL XIV

LEGEA PERIODICITĂŢII ŞI ATOMISTICA ACTUALĂ

Legea periodicităţii a fost încununarea atomisticii clasice. Totodată, ea a constituit punctul iniţial al dezvoltării care a condus la atomistica din zilele noastre. Atomistica modernă, neclasică este teoria unor particule care, alături de proprietăţile corpusculare, mai au şi proprietăţi ondulatorii. Mişcarea particulei poate fi reprezentată sub forma unui proces ondulatoriu. O astfel de îmbinare a proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii a fost descoperită mai întîi la electroni, cu ocazia construirii unui model de atom. La rîndul lor, undele electromagnetice au prezentat anumite proprietăţi corpusculare. Din punctul de vedere actual, legea periodicităţii şi interpretarea ei, care au condus la modelele atomice, servesc ca puncte de bază între atomistica de tip clasic şi cea modernă, ultima fiind teoria unor particule cărora le sînt caracteristice proprietăţi de continuitate şi discontinuitate (particulele constitue un continuum ce prezintă şi proprietăţi corpusculare).

Ne-am despărţit de ideile atomistice pe cînd acestea au stat faţă în faţă cu concepţia şcolii Newton-Linné, care s-a dezvoltat în mecanică sub forma teoriei fenomenologice a gravitaţiei, în fizică sub forma teoriei fluidelor specifice, iar în biologie sub forma unei clasificări artificiale. De la începutul secolului al XIX-lea, atomistica a fost dezvoltată în primul rînd în legătură cu teoria atomilor în sens propriu, consideraţi ca părţi discrete ale moleculei şi în a căror regrupare constă

reacțiile chimice. În fizică, reprezentările atomistice au fost fundamentul teoriei gazelor și al termodinamicii, dar în aceste teorii aspectul atomistic — modelele unor molecule în mișcare ce se ciocnesc — a jucat un alt rol decît în chimie. Termodinamica nu putea fi separată de atomistica fizică, de modelele moleculare; totodată însă, în centrul termodinamicii stăteau imaginile continue ale fluxurilor de căldură și legile macroscopice. În chimia secolului al XIX-lea atomistica a fost ideea centrală. Aici imaginile concrete ale moleculelor și ale atomilor nu erau supuse unei continualizări statistice, cum a fost cazul în fizică.

În chimia secolului al XIX-lea, atomistica fizică, adică teoria moleculelor, și atomistica propriu-zis chimică, adică teoria atomilor, treptat și din ce în ce mai clar s-au separat. Această linie de dezvoltare a coincis cu orientarea generală a dezvoltării științei din secolul al XIX-lea: stabilirea legilor specifice ale diverselor forme de mișcare și a ireductibilității legilor complexe la legi mai simple și mai generale. În cazul de față, legile specifice ale atomisticii chimice au fost puse în evidență în forma cea mai clară cu ocazia descoperirii legii periodicității. Acest proces a început însă cu delimitarea precisă a noțiunilor de atom și de moleculă.

Încă în secolul al XVIII-lea, atomistica s-a dezvoltat în strîns contact cu ideea conservării substanței. În teoria conservării energiei figurează un sistem conservativ în care energia mecanică totală rămîne constantă. În mod corespunzător, în chimie se consideră un sistem de atomi în care atomii se pot regrupa, dar nu pot varia ca număr. Principiul conservării substanței a fost legat din cele mai vechi timpuri de ideea variațiilor calitative, interpretate ca o regrupare a unor atomi indestructibili. În secolul al XVIII-lea, această reprezentare a căpătat o semnificație macroscopică precisă. Prin conservarea substanței a început să se înțeleagă conservarea greutății totale (sau a masei) substanțelor care participă la o reacție chimică. Principiul conservării substanței a căpătat această semnificație la Lomonosov, iar apoi la Lavoisier care, în *Cursul elementar de chimie* (1789), a făcut din el fundamentul expunerii sistematice a cunoștințelor din domeniul chimiei. Aceste reprezentări despre conservarea *greutății* substanțelor care inter-

vin într-o reacție și a *numărului* de atomi din care sînt formate aceste substanțe au condus la noțiunile de pondere moleculară și atomică.

Dacă atomii sînt caracterizați printr-o greutate constantă, atunci conservarea numărului de atomi își găsește expresia într-o lege macroscopică: conservarea greutății substanțelor în cadrul transformărilor lor calitative. Teoria ponderii atomice este o sinteză între ideea atomistică și reprezentarea macroscopică a conservării substanței. Această sinteză s-a efectuat la începutul secolului al XIX-lea, ea fiind strîns legată de geneza fizicii moleculare și, potrivit cu spiritul științelor naturii din acest secol, a condus nu la construcții calitative de domeniul filozofiei naturii, ci la date cantitative mai mult sau mai puțin exacte despre greutățile relative ale moleculelor și ale atomilor.

Chiar la începutul secolului al XIX-lea, Dalton (1766—1844) a enunțat legea proporțiilor simple. Dalton a considerat două elemente care formează compuși diferiți. De exemplu, știm că azotul formează cinci compuși diferiți cu oxigenul: protoxidul de azot, oxidul de azot, trioxidul de azot, bioxidul de azot și pentoxidul de azot. Compoziția pe greutăți a acestor cinci compuși se supune următoarei legi. Dacă vom compara greutatea oxigenului care se combină cu aceeași unitate de greutate de azot în cei cinci compuși enumerați mai sus, raportul dintre aceste greutăți va fi egal cu numerele întregi 1, 2, 3, 4, 5. Cu alte cuvinte, dacă adoptăm ca unitate greutatea părții de oxigen din protoxidul de azot, atunci greutatea oxigenului în ceilalți compuși va fi de 2 la oxidul de azot, 3 la trioxidul de azot, 4 la bioxidul de azot, 5 la pentoxidul de azot.

Dalton a arătat că raportul dintre cantitățile fiecărui element care intră în diverși compuși cu aceeași cantitate dintr-un alt element este egal cu un număr întreg. Această lege este caracteristică pentru toate combinațiile chimice. Dalton a explicat-o prin faptul că în molecula compusului intră, alături de un atom al unui anumit element (să zicem azotul), 1, 2, 3 etc. atomi din celălalt element. După concepția lui Dalton, o substanță simplă este o totalitate de atomi de același tip. În moleculele substanțelor compuse intră atomi de tipuri diferite.

Care sînt greutăţile relative ale atomilor diverselor elemente?

Pentru a răspunde la această întrebare a fost nevoie, pe lîngă legea propriu-zis chimică a proporţiilor simple, şi de anumite date suplimentare de natură fizică. La începutul secolului al XIX-lea, concomitent cu lucrările lui Dalton, Gay-Lussac (1778—1850) a ajuns la rezultate importante, care i-au permis ştiinţei să se apropie de noţiunile de pondere atomică şi moleculară. Gay-Lussac a cercetat dilatarea termică a gazelor (nu este cazul să relevăm legătura dintre aceste lucrări şi izvoarele istorice fundamentale ale descoperirilor ştiinţifice din secolul al XIX-lea) şi a stabilit că, la creşterea temperaturii cu 1°, volumul gazului creşte cu 1/273 din volumul său la temperatura nulă. Mai departe, Gay-Lussac a comparat volumele gazelor care intră într-o reacţie chimică şi ale celor care se formează în aceste reacţii. În 1808, el a stabilit o lege, conform căreia aceste volume se raportează între ele ca numere întregi. Avem din nou o lege a ştiinţelor naturii (care, de astă dată, stabilea relaţii volumetrice, nu de greutate) exprimată sub forma unor rapoarte între numere întregi. Aceste rapoarte exprimă una dintre legile cele mai generale şi fundamentale ale existenţei. Tabloul diferenţial al unei naturi continue, care urmăreşte un proces de la un segment şi de la o clipă infinit mici pînă la segmentul şi clipa infinit mici imediat învecinate, întîlneşte relaţii discrete surprinzătoare. Căutînd să afle natura acestor relaţii macroscopice discrete, ştiinţa ajunge la părţi microscopice discrete ale substanţei, indivizibile în sens absolut sau (cum s-a stabilit ulterior) relativ. În aceasta a constat semnificaţia generală — esenţială pentru istoria generală a ştiinţelor naturii — a descoperirilor chimice şi fizice care au condus la noţiunea de pondere atomică şi la stabilirea ponderilor atomice reale ale elementelor.

Legea lui Gay-Lussac nu putea conduce încă la calculul rapoartelor corecte de greutate dintre atomi. Berzelius (1779—1848) a presupus că în volume egale este conţinut un acelaşi număr de atomi. Experimentul contrazicea însă această ipoteză. Coincidenţa dintre rezultatele experimentale şi supoziţiile teoretice s-a obţinut abia după ce, în 1811, Avogadro (1776—1856) a emis

ipoteza: în volume de gaz egale, la temperatură și presiune egale, sînt conținute numere egale de *molecule*, nu de atomi. Astfel a pătruns în știință ideea ierarhiei părților discrete ale substanței. Legile fizice (relațiile dintre volume, temperaturi și presiuni) se bazează, în ultimă instanță, pe mecanica moleculelor, iar rapoartele de greutate din chimie au la bază gruparea atomilor. Atomii se grupează în molecule, care, în cazul general, conțin mai mulți atomi. Ele pot fi monoatomice, biatomice etc., mergînd pînă la moleculele mari, complexe, cu o structură determinată, de care se ocupă chimia organică. Combinînd 1 m^3 de gaz biatomic cu 1 m^3 de gaz triatomic se va obține 1 m^3 de gaz evînd aceeași presiune și aceeași temperatură, însă fiecare moleculă a gazului combinat va fi constituită din cinci atomi. Comparînd rapoartele dintre greutăți cu cele dintre volume, putem stabili compoziția moleculei și determina greutățile relative ale atomilor.

Determinarea greutăților relative ale moleculelor (a ponderilor moleculare) se poate face pe baza legii lui Avogadro. Dacă în volume de gaz egale este conținut un același număr de molecule, atunci greutatea unei molecule este proporțională cu greutatea specifică a acestei substanțe în stare gazoasă, la o presiune constantă și la o temperatură constantă. Dat fiind că numărul de molecule din volume egale este același, rezultă că raportul dintre greutățile unor volume egale ale acestor gaze nu diferă de raportul dintre greutățile moleculelor. Acum putem determina ponderile relative ale atomilor, deoarece compoziția moleculei este cunoscută din relațiile de greutate dintre substanțele simple care au format compușii chimici. Adoptînd ca unitate greutatea atomului de hidrogen (atomul cel mai ușor), putem exprima în aceste unități ponderile atomice relative ale tuturor celorlalte elemente. Drept unitate de pondere atomică a început să fie considerată 1/16 din greutatea atomului de oxigen, deoarece aproape toate elementele se combină cu oxigenul, iar 1/16 din această pondere relativă coincide destul de exact cu greutatea relativă a atomului de hidrogen. Procedeele pentru determinarea ponderilor atomice, care par astăzi destul de simple, au fost destul de complicate la timpul lor: abia la jumătatea secolului al XIX-lea s-a stabilit precis distincția

dintre noțiunile de pondere atomică și moleculară și s-au obținut date relativ exacte asupra ponderilor atomice.

În 1858 a apărut cartea lui Cannizzaro (1826—1910), *Studiu asupra dezvoltării chimiei teoretice*, care cuprindea o sinteză sistematică a datelor referitoare la ponderile atomice — rezultat al muncii de aproape cincizeci de ani a predecesorilor lui Cannizzaro și al propriilor sale experimente.

Congresul internațional de chimie de la Karlsruhe din 1860 a determinat răspîndirea largă a acestor date relativ exacte despre ponderile atomice. Unul dintre delegații la congres, într-o scrisoare despre rezultatele muncii sale, sublinia legătura existentă dintre ideile lui Cannizzaro și teoria căldurii:

„Regula volumelor, prin simplitatea ei și prin legătura pe care o stabilește între științele înrudite — chimia și fizica —, merită să fie preferată celorlalte mijloace pentru determinarea ponderii relative a particulelor. Această regulă mai poate fi exprimată și astfel: în vapori și în gaze, distanța dintre centrele particulelor este aceeași pentru toate corpurile și depinde numai de presiune și de temperatură. Pe același principiu se bazează și teoria actuală a căldurii, cu aplicare la gaze"[1].

Aceste rînduri au fost scrise de tînărul chimist rus D. I. Mendeleev (1834—1907), care avea să sistematizeze, să generalizeze și să transforme cunoștințele din domeniul chimiei pe baza ponderii atomice, calitate caracteristică fundamentală a elementelor.

În 1869, D. I. Mendeleev a descoperit legea periodicității. În una dintre primele sale comunicări, Mendeleev vorbește despre drumul pe care l-a urmat. El menționează cele două caracteristici fundamentale ale substanței — una este masa substanței, iar cealaltă o reprezintă proprietățile fizice — care deosebesc o substanță de celelalte pe plan calitativ:

„Consacrîndu-mi puterile studiului substanței, văd în ea următoarele două caracteristici sau proprietăți: *masa*, care ocupă spațiul și se manifestă în atracție, iar mai clar și mai real în greutate, și *individualitatea*, exprimată

[1] D. I. Mendeleev, *Opere*, vol. XV, M.—L.,1949, pp. 167—168. (ed. rusă).

prin transformările chimice şi formulată în modul cel mai clar în ideea de elemente chimice"[1].

În *Bazele chimiei*, Mendeleev scria că s-a călăuzit după ideea dependenţei de masă, nu numai a gravitaţiei, ci şi a celorlalte proprietăţi ale substanţei.

„De masa substanţei depinde în mod direct gravitatea, atracţia la distanţe mici şi multe alte fenomene. Nu se poate presupune că forţele chimice n-ar depinde de masă. Această dependenţă există, pentru că proprietăţile corpurilor simple şi compuse sînt determinate de masele atomilor, care le alcătuiesc"[2].

Dar dependenţa s-a dovedit specifică, ea prezentînd repetări periodice ale proprietăţilor chimice o dată cu creşterea monotonă a ponderilor atomice ale elementelor:

„Dar proprietăţile atomilor sînt determinate, în primul rînd de masa sau de greutatea lor şi variază periodic în funcţie de această mărime. Pe măsură ce creşte masa, proprietăţile se modifică succesiv şi regulat şi apoi se întorc la cele iniţiale, pentru a începe o nouă perioadă de variaţie a proprietăţilor lor, asemănătoare celei anterioare"[3].

Mendeleev a scris pe cartoane denumirile elementelor, ponderile lor atomice şi formulele celor mai importanţi compuşi. Cu acest prilej, el a acordat o deosebită atenţie valenţei, adică capacităţii unui atom dintr-un element dat de a se combina cu un număr determinat de atomi ai altui element. Mendeleev a dispus aceste cartoane în diverse combinaţii. El căuta o legătură nu numai între elementele relativ apropiate din punctul de vedere al proprietăţilor lor chimice, ci şi între elemente neasemănătoare. Mendeleev a găsit această legătură, elementele neasemănătoare s-au dovedit a fi apropiate ca pondere atomică, iar la rîndul lor elementele cu proprietăţi asemănătoare se distanţau relativ mult sub raportul ponderii atomice, iar distanţa dintre elementele asemănătoare se repeta.

[1] D. I. Mendeleev, *Opere*, vol. XXIV, M.—L., 1954, p. 155 (ed. rusă).

[2] *Idem*, *Bazele chimiei*, vol. II, Editura Academiei R.P.R., 1958, p. 86.

[3] *Ibidem*,

Mendeleev a examinat, de exemplu, litiul — un metal ușor, din familia așa-numitelor metale alcaline. După anumite proprietăți, litiul seamănă cu sodiul, un alt metal alcalin ușor. Mendeleev a remarcat că dacă elementele sînt dispuse după ponderea lor atomică, atunci între litiu și sodiu se află șase elemente care nu seamănă nici cu unul nici cu celălalt. Alături de litiu se dispune un alt metal, care nu seamănă cu el ca proprietăți, iar sodiul, care seamănă cu litiul, vine abia în locul al șaptelea după litiu. După natriu, urmează un nou interval, umplut cu șase elemente care nu seamănă cu litiul și cu sodiul, iar apoi vine iarăși un metal alcalin ușor, potasiul. Mendeleev a constatat că astfel de repetări apar și în alte cazuri.

Descoperind repetarea periodică a proprietăților chimice la o serie de elemente dispuse în ordinea crescătoare a ponderii atomice, stabilind apoi că între elemente asemănătoare se dispune același număr de alte elemente, Mendeleev a întocmit o tabelă a elementelor, scriind denumirile elementelor asemănătoare unul sub altul. El a obținut astfel coloane verticale (grupe de elemente) și linii orizontale (perioade). În exemplele de mai sus, de la începutul sistemului periodic, între elementele cu proprietăți asemănătoare se afla un interval umplut cu șase elemente. Ulterior, Mendeleev a constatat că proprietățile elementelor mai grele nu se repetă după 7 numere (după un interval de șase elemente), ci după un număr mai mare. A apărut astfel noțiunea de perioade mici și mari. Sistemul periodic se dezvolta și se completa.

Mendeleev era atît de convins de obiectivitatea legii pe care o descoperise, încît s-a crezut îndreptățit să corecteze, pe baza acestei legi, ponderile atomice atribuite pe atunci unora dintre elemente. Dacă el ar fi așezat elementele în ordinea crescătoare a ponderii atomice, conducîndu-se în toate cazurile după valorile cunoscute atunci ale ponderilor atomice, s-ar fi putut observa o abatere de la periodicitate. În aceste condiții, de exemplu, am fi întîlnit dedesubtul aluminiului titanul, care nu repetă cîtuși de puțin proprietățile aluminiului; sub siliciu ar fi venit vanadiul, care nu seamănă cu siliciul; fosforul ar fi făcut parte din aceeași grupă cu cromul, care nu seamănă cu el etc. Plecînd de la proprietățile

chimice ale elementelor, Mendeleev a corectat ponderile atomice la zece elemente. Convingerea fermă în caracterul universal al legii pe care o descoperise l-a determinat pe Mendeleev să corecteze ponderile atomice ale următoarelor elemente: uraniul, indiul, platina, osmiul, iridiul, aurul, titanul, sodiul, ceriul şi ytriul. Mai departe, el s-a abătut cu acelaşi curaj de la creşterea regulată a ponderii atomice, aşezînd cobaltul, a cărui pondere atomică este mai mare, înaintea nichelului, care este mai uşor, iar telurul înaintea iodului.

O periodicitate regulată se observa numai în cazul în care după cîteva elemente rămînea o căsuţă liberă. În aceste locuri ale tabelei sale, Mendeleev a introdus elemente care nu erau încă cunoscute pe atunci. Un astfel de element venea după aluminiu (Mendeleev l-a denumit „ekaaluminiu" — în limba sanscrită, *eka* înseamnă „unu", deci „ekaaluminiu" înseamnă aluminiu plus unu, după siliciu („ekasiliciu") şi după bor („ekabor"). Mendeleev a prevăzut chiar proprietăţile elementelor cărora le stabilise dinainte căsuţele libere din tabela sa.

În 1875, Lecoq de Boisbaudran (1838—1912), studiind blenda de zinc extrasă din Pirinei, a observat o linie violetă strălucitoare în spectrul ei. Nici unul dintre elementele chimice cunoscute pe atunci nu prezenta o astfel de linie. Lecoq de Boisbaudran a presupus că în compoziţia blendei de zinc intră un nou element chimic, necunoscut, pe care l-a separat după o serie de experimente. În cinstea patriei chimistului, noul element a căpătat numele de galiu. Descrierea acestui element a fost publicată în comunicările Academiei de Ştiinţe de la Paris. Mendeleev a citit descrierea şi a scris imediat la Paris că galiul, pe care-l descoperise Lecoq de Boisbaudran, este „ekaaluminiul" din sistemul periodic. Cu acest prilej, Mendeleev a arătat că densitatea galiului (ekaaluminiului) trebuie să fie 5,9—6,0 şi nu 4,7, cît stabilise Lecoq de Boisbaudran. Acesta, luînd cunoştinţă de scrisoarea lui Mendeleev, şi-a continuat experimentele şi a obţinut pînă la urmă pentru densitatea galiului valoarea prevăzută de Mendeleev — 5,96.

Au urmat curînd noi descoperiri. Chimistul suedez Nielssen, care a descoperit un element necunoscut pînă atunci (ce a fost denumit „scandiu" în cinstea Scandi-

naviei), şi-a dat imediat seama că are de-a face cu ekaborul lui Mendeleev.

În 1886, Winkler (1863—1913), care a descoperit un nou element denumit germaniu, nu a recunoscut iniţial în acesta ekasiliciul descris de Mendeleev. Dar imediat ce descoperirea lui Winkler a fost publicată în presă, el a căpătat cîte o scrisoare de la Mendeleev din Petersburg, de la Richter din Wroclaw şi de la Lothar Meyer din Tubingen. Toţi trei îi comunicau lui Winkler că descoperise tocmai ekasiliciul, că germaniul este identic cu ekasiliciul.

Ulterior, s-au făcut noi descoperiri fundamentale, care au confirmat şi concretizat legea periodicităţii. În 1894, Rayleigh (1842—1919) şi Ramsay (1852—1916) au descoperit un nou gaz inert, argonul. Curînd, Ramsay a descoperit un alt gaz inert, heliul, şi a făcut ipoteza că heliul şi argonul formează începutul unei noi grupe în sistemul periodic şi că, după un anumit număr de căsuţe care urmează argonului, această grupă trebuie să cuprindă şi alte gaze inerte. Ramsay şi elevii săi au descoperit aceste gaze: neonul, kriptonul şi xenonul. După aceea, Mendeleev şi-a completat tabela cu o grupă nouă: grupa zero.

Prima căsuţă a tabelei este ocupată de hidrogen, cu ponderea atomică aproximativ egală cu 1. Urmează apoi heliul, cu care se termină prima perioadă, cea mai scurtă. După aceea începe a doua perioadă, care cuprinde opt elemente: litiul, beriliul, borul, carbonul, azotul, oxigenul, fluorul şi neonul. Vine apoi perioada a treia, de asemenea cu opt elemente. Acestea sînt cele trei perioade denumite mici. După ele urmează perioadele mari, cuprinzînd fiecare cîte 18 elemente (perioadele a patra şi a cincea). Iniţial, se credea că şi perioadele următoare conţin cîte 18 elemente. Ulterior însă, s-a constatat că 14 elemente (aşa-numitele pămînturi rare sau lantanide, de la elementul cu numărul atomic 57 pînă la elementul cu numărul atomic 71) trebuie aşezate toate într-o singură căsuţă a tabelei.

Aşadar, perioada următoare cuprinde 32 de elemente. Toate aceste circumstanţe complementare complexe au fost descoperite şi şi-au găsit ulterior o explicaţie exhaustivă. Această explicaţie a fost dată abia în secolul nostru.

La fel cu mai multe alte descoperiri mari din secolul al XIX-lea, legea periodicității a generalizat și a explicat o mulțime de fapte cunoscute dinainte, punînd totodată noi probleme pentru secolul următor. Problema principală era chiar periodicitatea. De ce se repetă periodic proprietățile elementelor, dacă le dispunem în ordinea crescătoare a greutății lor atomice? Răspunzînd la această întrebare, fizica secolului al XX-lea a dezvăluit structura atomului, iar apoi și pe a nucleului atomic.

Cercetarea structurii atomului și a nucleului atomic, precum și descoperirea particulelor elementare care intră în compunerea nucleelor au fost strîns legate de studiul fenomenelor radioactivității. În 1896 Henri Becquerel (1852—1908), cercetînd fluorescența unor corpuri, a constatat că sărurile uraniului înnegresc placa fotografică, ceea ce atesta prezența unei anumite radiații. Această radiație necunoscută înainte a fost numită radioactivă. Pierre Curie (1859—1906) și Maria Sklodowska-Curie (1867—1934), studiind compușii uraniului, au stabilit că minereul de uraniu (pehblendă), obținut din Cehoslovacia, se distinge printr-o intensă radiație radioactivă, mai mare chiar decît cea a uraniului pur. Ei au presupus că acest minereu conține un element cu o radioactivitate mai mare decît a uraniului. În 1898, ei au reușit să separe acest element. S-a constatat, într-adevăr, că radiația sa este de un milion de ori mai intensă decît a uraniului. Acest element a fost denumit radiu. El emite raze de diferite feluri: un flux de particule încărcate pozitiv — razele α (alfa); un flux de electroni — razele β (beta); o radiație electromagnetică de frecvență foarte mare — razele γ (gama). Cauza radiației este dezintegrarea nucleelor atomilor radiului. Uraniul se dezintegrează și el, dar atît de încet, încît cantitatea sa scade la jumătate după 4,6 miliarde de ani (perioada de înjumătățire). La dezintegrarea uraniului se formează radiul, pe care l-au descoperit Maria Sklodowska și Pierre Curie. Dezintegrarea sa are loc mai repede: perioada radiului este de aproximativ 1590 de ani.

La începutul secolului nostru s-a stabilit că, în afară de uraniu și de radiu, și alte elemente sînt radioactive. Rubidiul și samariul se dezintegrează atît de încet, încît cantitatea lor se reduce la jumătate după multe miliarde

de ani. Unele elemente au o perioadă de înjumătățire și mai mare.

Descoperirea electronului, a radioactivității, iar apoi a unei particule cu sarcină pozitivă (protonul) și a uneia neutre (neutronul) a permis să se explice foarte exact și concret apariția periodică a unor elemente cu proprietăți chimice asemănătoare, creșterea succesivă (deși nu perfect uniformă) a ponderii atomice a elementelor în sistemul periodic al lui Mendeleev, existența perioadelor mici și mari și multe altele.

O etapă de cea mai mare importanță în dezvoltarea reprezentărilor asupra structurii atomului au constituit-o experimentele lui Rutherford (1871—1937) din 1911. Rutherford a îndreptat un flux de particule α asupra unor ținte din diverse substanțe și a înregistrat devierea lor la trecerea prin substanță. El a constatat că, în majoritatea cazurilor, particulele α trec prin substanță fără a fi abătute, adică fără a suferi o interacțiune puternică cu atomii, dar că în cazuri rare ele sînt abătute considerabil de la direcția inițială a mișcării lor. Fenomenul sugera impresia că particulele α care bombardează un atom trec prin el fără piedică, dar din cînd în cînd se abat brusc de la drumul lor, suferind parcă acțiunea de respingere a unei sarcini pozitive mari, aflate în centrul atomului și concentrate într-o regiune foarte mică.

Rezultatele experimentelor l-au determinat pe Rutherford să presupună că în centrul atomului se află un nucleu încărcat pozitiv, care ocupă o parte foarte mică din volumul atomului. El a comparat numărul de particule pozitive care trec prin atom fără o abatere sensibilă, cu numărul de particule pozitive care suferă acțiunea de respingere din partea nucleului și a reușit astfel să calculeze dimensiunile nucleelor atomice. Dimensiunile lor sînt cam de o sută de mii ori mai mici decît dimensiunile atomilor. Rutherford a ajuns la concluzia că în jurul unui astfel de nucleu pozitiv se învîrtesc electroni, pe diferite orbite. Electronii și nucleele au sarcini electrice de sens contrar, dar electronii nu cad pe nucleu datorită forței centrifuge, după cum nici planetele nu cad pe Soare.

Acest model planetar al atomului a permis să se explice periodicitatea proprietăților chimice. În tabela lui Mendeleev, fiecărui element îi este atribuit un număr

atomic (de ordine) care crește cu o unitate de la fiecare căsuță la cea următoare. Curînd după descoperirea lui Rutherford s-a constatat că numărul atomic al fiecărui element din tabela lui Mendeleev coincide cu mărimea sarcinii pozitive a nucleului, în unități egale cu sarcina electronului. Dat fiind că în atomul neutru sarcina pozitivă a nucleului echilibrează sarcina electronilor, rezultă că, în acești atomi, numărului atomic îi corespunde și numărul de electroni.

Între 1920 și 1930 s-a obținut următorul tablou care explică repetarea periodică a proprietăților chimice. În atomul cel mai simplu, atomul de hidrogen, nucleul are o sarcină pozitivă egală cu unitatea. Cu alte cuvinte, nucleul atomului de hidrogen este o singură particulă încărcată pozitiv — protonul. În jurul lui se mișcă un singur electron. În nucleul atomului de heliu (a cărui sarcină pozitivă este dublă) se mișcă doi electroni. O dată cu creșterea sarcinii nucleului, crește și numărul de electroni, pînă la ultimul element întîlnit în natură, descoperit în condiții naturale — uraniul, în care 92 de electroni se învîrtesc în jurul unui nucleu cu sarcina pozitivă de 92. Menționăm din nou că, deocamdată, este vorba despre atomi, în care numărul de electroni este egal cu sarcina pozitivă a nucleului. În tot lungul sistemului periodic al lui Mendeleev, de la hidrogen și pînă la elementele cele mai grele, inclusiv transuranicele obținute pe cale artificială, constatăm o creștere consecventă a sarcinii nucleului și, corespunzător, o creștere a numărului de electroni. Acești electroni se mișcă pe orbite diferite, electronii ale căror orbite sînt apropiate formînd un fel de înveliș al atomului. Numărul de electroni din învelișul exterior al atomului unui element chimic determină proprietățile chimice ale elementului respectiv. Completării cu electroni a păturilor exterioare ale atomului îi corespunde completarea perioadelor din sistemul lui Mendeleev. Cei doi electroni din atomul de heliu completează primul înveliș. Mai departe, în perioada a doua, al treilea electron exterior începe al doilea înveliș, iar acesta se completează treptat cu electroni în atomii [aparținînd acestei perioade] de beriliu, bor, carbon, oxigen, fluor și, în sfîrșit, învelișul este complet cînd se ajunge la al doilea gaz inert — neonul. Adăugarea succesivă a opt electroni, de la heliu

pînă la neon, corespunde exact unei perioade mici din sistemul lui Mendeleev (perioada a doua), care conține opt elemente. Al unsprezecelea electron periferic (la atomul de natriu) începe completarea celui de-al treilea înveliș. Este clar, astfel, că sodiul trebuie să semene ca proprietăți chimice cu litiul, al cărui atom conține de asemenea un singur electron în învelișul exterior (al doilea). În adevăr, litiul și sodiul — care sînt metale alcaline — au proprietăți asemănătoare. Celelalte metale alcaline — potasiul, rubidiul, cesiul — au de asemenea atomi în care învelișul exterior conține un singur electron. Dacă luăm atomul unui gaz inert, adică un atom cu învelișul periferic completat, și adăugăm un proton la nucleu și un electron la înveliș, obținem din heliu litiul, din neon sodiul, din argon potasiul, din kripton rubidiul, din xenon cesiul.

Trecînd de la un element la altul, învelișurile se completează cu electroni, în general într-o ordine anumită, pe grupe de orbite determinate. Uneori însă, completarea succesivă a grupelor de orbite apropiate în cadrul unui înveliș este încălcată, iar orbitele mai îndepărtate de nucleu se completează înaintea altora. Atunci apar în interiorul atomului un șir de orbite omise, necompletate. Exemplul cel mai interesant de completare a orbitelor interioare, omise, îl constituie pămînturile rare (lantanidele) despre care am mai vorbit și care se situează împreună cu lantanul într-o singură căsuță a sistemului periodic. Atomii acestor elemente nu se deosebesc prin electronii periferici, care le modifică sensibil valența și alte proprietăți fizice și chimice, ci prin electroni așezați adînc în interior și care nu joacă un rol esențial în reacțiile chimice.

Această reprezentare a atomului a permis să se stabilească natura reacțiilor chimice și legătura dintre atomi în molecule. Atomii pot pierde o parte din electronii lor exteriori, sau, dimpotrivă, pot să dobîndească electroni în plus. În primul caz, numărul de particule încărcate negativ din atom se micșorează, iar întregul atom capătă o sarcină pozitivă, devine un ion pozitiv. Dacă atomului i se adaugă însă electroni în plus, care completează locurile libere de pe învelișul său periferic, atunci numărul de particule încărcate negativ crește, atomul în ansamblul său capătă o sarcină negativă și

devine un ion negativ. De gradul în care este completat învelișul periferic al unui atom, adică de numărul său de electroni exteriori depinde numărul de electroni care pot fi captați sau expulzați atunci cînd atomul se transformă într-un ion, iar aceasta înseamnă proporția în care respectivul element se combină cu altele, adică valența elementului. În anumite molecule, de exemplu în molecula acidului clorhidric, ionii negativi și cei pozitivi sînt legați între ei prin atracție electrică, la fel cu corpurile care au sarcini de semn contrar. Dar atomii se pot combina în molecule și în moduri mai complicate.

Combinarea atomilor în molecule și valența proprie diverșilor atomi și-au găsit o explicație în modelul atomului. Însă impulsul dat științei prin descoperirea periodicității a condus-o mai departe, de la problemele atomului la problemele nucleului atomic. Această cale ne oferă un prilej pentru anumite paralele istorice.

Un model de atom explică valența și celelalte proprietăți chimice ale unui element *concret*. El explică, de asemenea, mecanismul radiației atomului, deși aici apar dificultăți serioase, cum vom vedea în capitolul XVII. Radiațiile radioactive care transformă atomul unui element în atomul altui element depășesc însă cadrul fizicii atomice și-și găsesc o explicație în fizica nucleară. Putem în prezent să zugrăvim tabloul transmutațiilor elementelor, al trecerii lor dintr-o căsuță a sistemului periodic în alta. Dar cum să explicăm faptul că în Univers se întîlnesc tocmai aceste nuclee și nu altele, cum să explicăm abundența lor relativă, cu ce etape ale evoluției cosmice să o punem în legătură?

Astrofizica actuală a stabilit omogenitatea relativă de compoziție chimică a părții de Univers pe care o cunoaștem. Hidrogenul constituie aproximativ 90% din masa totală a substanței, heliul — 10%, elementele de la carbon pînă la neon — 1%, metalele care se dispun în tabela lui Mendeleev în vecinătatea fierului — 0,5%. Pentru multe elemente s-au găsit legile de formare, legate de condiții integrale ale evoluției cosmice. Probabilitatea maximă și abundența macroscopică a diverselor reacții nucleare sînt în relație cu evoluția temperaturii stelelor. Aceste reacții explică originea energiei stelare.

La început, rolul cel mai important în bilanțul lor energetic revine transformării hidrogenului în heliu, iar în alte stadii, mai tîrzii, și în alte condiții de temperatură, transformării heliului în carbon și în oxigen, apoi transformării acestor elemente în elementul cel mai stabil, fierul. Compoziția chimică a Universului arată că acesta se află la începutul drumului care duce de la hidrogen la fier. În condițiile temperaturilor care se întîlnesc acum în interiorul majorității stelelor, rolul principal pentru bilanțul lor energetic revine formării heliului din hidrogen, o reacție termonucleară care, într-un viitor apropiat, va juca un rol important în domeniul energeticii industriale.

Putem da acum o apreciere istorică retrospectivă interpretării fizice a legii periodicității, teoriei electronice, modelului planetar al atomului și teoriei radioactivității și transmutațiilor elementelor. Știm că teoria electronică și modelul atomului, legat de ea, au condus, prin dezvoltarea lor ulterioară, la o atomistică neclasică în care se atribuie particulelor și proprietăți ondulatorii, pe lîngă cele corpusculare. Pentru *istoria generală a științelor naturii,* pentru evoluția ideilor generale despre spațiu, timp, mișcare și substanță, efectul atomisticii neclasice constă în crearea unei noi concepții asupra proceselor microscopice elementare din natură, asupra cărămizilor elementare ale Cosmosului. Ideile noi, legate de teoria relativității, au pătruns în știință pe o cale întrucîtva diferită.

Toate acestea au devenit cunoscute mult mai tîrziu, după descoperirea radioactivității, a electronilor etc. Dar, încă în anii 1900—1910, sinteza și generalizarea filozofică a revoluției din științele naturii au condus la înțelegerea acestor descoperiri ca o trecere spre un nou tablou al lumii.

Această sinteză și generalizare au fost date în cartea lui Lenin *Materialism și empiriocriticism.* Descoperirile anilor 1890—1910 erau folosite în interesul fideismului și al agnosticismului. Lenin a arătat că teoria electronică și descoperirile legate de ea înseamnă o dezvoltare, o concretizare și o fundamentare a ideilor de realitate și cognoscibilitate a lumii materiale, a ideii de existență a materiei care este cauza independentă de conștiință

a senzațiilor, și, în sfîrșit, a ideii că știința se apropie infinit și succesiv de realitatea obiectivă. Aceste idei, îndreptate împotriva considerării științei drept un lanț de rătăciri subiective și împotriva absolutizării dogmatice a treptelor istorice din dezvoltarea științei, nu pot fi zdruncinate, ele pot fi doar confirmate și concretizate. Din punctul de vedere al apropierii succesive a tabloului lumii de originalul său infinit de complex, fiecare nouă etapă a cunoașterii este o trecere spre o treaptă și mai înaltă în cunoașterea adevărului obiectiv. În condițiile revoluției care a avut loc în știința anilor 1890—1910, această poziție a îngăduit să se pună în evidență nu numai contururile tabloului electromagnetic al lumii, ci și perspectiva generalizării și transformării sale viitoare. Lenin scrie că materialismul nu afirmă cîtuși de puțin „... neapărat tabloul «mecanicist», și nu cel electromagnetic sau un oarecare alt tablou cu mult mai complex al lumii, considerată ca *materie în mișcare*"[1].

Lenin și-a dat seama și de trăsătura comună a noilor concepții electromagnetice și mai complicate asupra substanței, spre care înainta știința. Cît de departe a privit el în viitor, reiese din aprecierea deja cunoscută a electronului, ca particulă care reabilitează eventual ideea abaterilor spontane.

Lenin și-a dat seama și de o altă latură a trecerii de la concepțiile mecaniciste la alte reprezentări mai exacte. Este vorba despre trăsăturile specifice ale legilor mișcărilor rapide. Lenin scrie că „... mecanica a fost o reproducere a mișcărilor reale lente, iar noua fizică e o reproducere a mișcărilor reale de viteză uriașă"[2]. El vorbește despre subordonarea legilor mecanicii față de legile mai profunde și mai generale ale fenomenelor electromagnetice[3].

Ideea că legile fenomenelor electromagnetice ar fi legile fundamentale ale Cosmosului era larg răspîndită în primii ani ai secolului al XX-lea. Dar Lenin a desprins din această tendință trecerea spre reprezentări mai generale și mai precise. Și, în adevăr, tabloul lumii care

[1] V. I. Lenin, *Opere*, vol. 14, Editura Politică, 1959, p. 274.
[2] *Ibidem*, p. 259.
[3] *Ibidem*, p. 255.

lua naştere la începutul secolului şi-a depăşit repede varianta electromagnetică iniţială, transformîndu-se într-o generalizare mai cuprinzătoare. Subordonarea mecanicii faţă de legile electrodinamicii s-a realizat printr-o mărginire a vitezelor mecanice la viteza de propagare a undelor electromagnetice. Dar această generalizare a fizicii clasice a devenit punctul de plecare pentru transformarea radicală a fundamentelor tabloului ştiinţific al lumii, a reprezentărilor despre spaţiu, timp şi mişcare.

CAPITOLUL XV

CÎMPUL ŞI SPAŢIUL

Ştiinţa secolului al XIX-lea a găsit limite parţiale ale explicaţiei clasice a naturii, limitele care despart fenomenele subordonate direct legilor lui Newton, de fenomenele subordonate legilor mai complicate (inclusiv ireversibilitatea) ale mişcărilor moleculare, legilor şi mai complicate (inclusiv periodicitatea) ale mişcării atomilor, legilor incomparabil mai complicate (inclusiv selecţia naturală) ale evoluţiei organice etc. Toate acestea însă nu au zdruncinat fundamentele mecanicii clasice şi nu au distrus convingerea că legile clasice ale mişcării particulelor de masă invariabilă şi tabloul laplaceian al poziţiilor şi vitezelor lor rămîn substratul reprezentării ştiinţifice asupra naturii, care este ireductibilă numai la acest substrat, dar, totodată, inseparabilă de el.

Ştiinţa secolului al XX-lea a depăşit cadrul tabloului mecanic clasic al lumii, chiar în varianta sa mai cuprinzătoare şi mai generalizată, care a apărut în secolul al XIX-lea şi presupune ireductibilitatea formelor de mişcare complicată la substratul lor mecanic elementar. O premisă a noului tablou al lumii a fost reprezentarea de cîmp de forţe, conceput ca o realitate fizică. Această reprezentare s-a dezvoltat pe terenul electrodinamicii. În teoria gravitaţiei, în electrostatică şi în magnetostatică noţiunea de cîmp avea un caracter formal. În teoria sarcinilor *în mişcare,* a cîmpurilor magnetice pe care le generează şi a acţiunii acestor cîmpuri

asupra sarcinilor s-au format treptat premisele unei alte concepții. În primăvara anului 1820, Christian Oersted (1777—1851) a observat că un ac magnetic așezat în apropierea unui conductor prin care trece un curent este deviat. Mișcarea unei sarcini electrice exercită o acțiune asupra acului magnetic, sau, altfel spus, ea generează un cîmp magnetic. S-a stabilit curînd că în cîmpul magnetic al unui curent capătul acului magnetic, adică polul magnetic, nu se mișcă spre izvorul cîmpului și nu este respins de la acesta, ci tinde să descrie un cerc într-un plan perpendicular pe axa de mișcare a curentului. Astfel a fost descoperită o nouă lume de fenomene, care se deosebesc principial, de efectele forțelor centrale care acționează între corpuri numai în lungul dreptei ce le unește.

În toamna aceluiași an, Ampère (1775—1836) a observat că doi conductori, prin care trec curenți electrici, se atrag unul pe celălalt atunci cînd curenții respectivi au același sens (direcție) și se resping atunci cînd curenții sînt de sens contrar. Această descoperire a servit ca punct de plecare pentru lucrările teoretice ale lui Ampère, care au pus bazele electrodinamicii. Curînd, Faraday (1791—1867) a ajuns la rezultate și mai importante. Vom insista mai amănunțit asupra lor.

Faraday, fiu al unui fierar, de meserie legător de cărți, apoi elev și asistent al lui Davy, a fost unul dintre cei mai mari experimentatori și teoreticieni ai secolului al XIX-lea; în 1831, el a început să-și publice celebrele *Cercetări experimentale asupra electricității*. Această lucrare nu are, în multe privințe, un analog în literatura științifică mondială. Paginile *Cercetărilor experimentale* îl cuceresc pe cititor prin îndrăzneala ideilor experimentale, prin aprecierea întotdeauna moderată a rezultatelor, prin multipla variere și verificare a experimentelor și prin nobila sinceritate a descrierii acestor experimente, care au zdruncinat ipoteze fundamentale. Și mai impresionantă este profunzimea revoluției pe care a înfăptuit-o Faraday în ideea cîmpurilor electrice și magnetice.

În teoriile fizice ale secolelor al XVIII-lea—al XIX-lea — în teoria gravitației, în electrostatică și în magnetostatică — *intensitatea cîmpului* (adică forța care acționează asupra masei gravitaționale egale cu unitatea,

asupra unității de sarcină electrică sau asupra unității de masă magnetică) depinde nemijlocit de factori integrali, respectiv: distribuția centrelor de greutate, a sarcinilor care generează cîmpul electric sau a polilor magnetici care generează cîmpul magnetic. La Faraday, intensitatea cîmpului nu este o caracteristică matematică formală a forței care acționează într-un punct dat asupra unui corp cu sarcina egală cu unitatea, *dacă o astfel de sarcină este situată în punctul dat.* În teoria lui Faraday, intensitatea cîmpului este o stare a cîmpului care există în punctul considerat, indiferent dacă apare sau nu în el o sarcină de probă. Așadar, teoria lui Faraday este o trecere de la aparatul matematic diferențial al unui tablou fizic în esență integral, la un tablou fizic diferențial. În general, intensitatea cîmpului, care variază continuu de la un punct la altul și de la un moment la altul, fiind descrisă, de aceea, prin ecuații diferențiale, nu mai este înregistrarea diferențială a efectelor fizice *posibile* pentru fiecare punct, deci a efectelor distribuției integrale a izvoarelor cîmpului. Aceasta este expresia nemijlocită a unei stări fizice. Intensitatea cîmpului dobîndește o semnificație fizică directă.

De ideea realității cîmpului este legată cea mai importantă descoperire experimentală a lui Faraday: inducția electromagnetică. *Cercetările experimentale* cuprind descrierea unui experiment efectuat de Faraday în 1831, care de fapt încheie o serie de experimente făcute timp de mai mulți ani. Faraday a lăsat să treacă curentul unei baterii galvanice printr-un conductor înfășurat pe un inel de fier. Inelul mai avea și o altă înfășurare, conectată la un galvanometru. Faraday a observat o deviere a acului galvanometrului, adică apariția unui curent în înfășurarea a doua, de fiecare dată cînd stabilea sau întrerupea circuitul din care făcea parte prima înfășurare. Variația cîmpului magnetic generat de curentul din prima înfășurare determina un curent electric în a doua înfășurare.

Descoperirea inducției electromagnetice, care a devenit baza electrodinamicii și premisa unor transformări radicale ale producției, a modificat și concepțiile teoretice ale științei secolului al XIX-lea. Potrivit concepțiilor lui Faraday, într-un circuit electric, de exemplu

într-o spiră a înfășurării, apare un curent atunci cînd variază cîmpul magnetic care intersectează acest circuit. Variația cîmpului magnetic determină apariția unui curent electric. Cît timp acest efect ne era necunoscut, se putea considera cîmpul magnetic drept acțiune exercitată asupra polului magnetic de probă. Cînd variază intensitatea cîmpului magnetic, înseamnă că la apariția unui pol magnetic, acesta va suferi o altă acțiune puternică, în comparație cu polul magnetic care a apărut anterior în acest punct. După ideile lui Faraday, cîmpul magnetic există înainte de apariția polului magnetic de probă și rămîne după ce acesta a fost îndepărtat. Conform rezultatelor experimentale ale lui Faraday, variația intensității cîmpului magnetic se manifestă, în afară de variația accelerațiilor polilor de probă, și în apariția unor cîmpuri electrice, în condițiile cărora, după cum a demonstrat ulterior Maxwell, apar anumite fenomene bine determinate în spațiu, chiar și în lipsa conductorilor. Așadar, dintr-o măsură cantitativă, forța de interacțiune a corpurilor se transformă într-o stare care umple spațiul cu o substanță continuă. Tabloul lumii încetează de a mai fi tabloul unui spațiu vid, în care se mișcă corpuri ce diferă de vid prin proprietățile lor dinamice. În reprezentarea lui Faraday, atomul este un punct spre care converg linii de forță. Însă materia nu se dizolvă în forțe — dimpotrivă, forțele apar ca formații materiale, iar variațiile forțelor (variațiile intensității cîmpului) sînt considerate de Faraday ca un proces de variație în spațiu (de la un punct la altul) și în timp (de la un moment la altul) a stării mediului material. Este o idee cu totul nouă. La Leibniz, forțele erau considerate ca substanțe imateriale, iar dinamismul leibnizian era o încercare de a elimina substanțele materiale din tabloul lumii. În teoriile cinetice, forța era o noțiune secundară, fiind considerată ca rezultat al mișcării unor particule materiale. Prin forța care acționează asupra unității de masă sau asupra unității de sarcină, adică prin intensitatea cîmpului de forțe se înțelegea o caracteristică convențională a interacțiunii dintre corpul care este izvorul cîmpului și corpul de probă. Faraday a fost cel dintîi care a întemeiat, a dezvoltat, a legat de rezultatele experimentale ideea de cîmp de forțe, ca mediu material. O deformare, o variație a stării mediului este

o modificare a unui obiect identic cu sine, care nu apare şi nu dispare cîtuşi de puţin o dată cu apariţia sau cu îndepărtarea corpului de probă, ci persistă, îşi conservă existenţa continuă, indiferent de această modificare. Aşadar, mulţimea continuă de valori ale intensităţii cîmpului se transformă într-un continuum fizic, un mediu continuu a cărui stare determină comportarea unei particule discrete, aflate într-un punct dat.

Acestea sînt concluziile care rezultă din concepţia lui Faraday. Ea şi-a căpătat dezvoltarea în lucrările lui Maxwell (1831—1879). Acesta a scris ecuaţiile diferenţiale care nu mai puteau păstra doar un sens formal; el a găsit procese care permiteau să se rezolve într-un mod univoc, cu ajutorul experimentului, problema realităţii cîmpului electromagnetic.

Maxwell şi-a început lucrările asupra teoriei cîmpului electromagnetic, concomitent cu lucrările asupra teoriei căldurii. După ce a elaborat teoria statistică a mişcării moleculelor, Maxwell s-a apropiat de înţelegerea legilor nemecanice ale naturii. Aceste legi pot fi reprezentate cu ajutorul unor analogii mecanice. În teoriile macroscopice ale căldurii, unde operăm cu noţiunea de temperatură şi de nivelare a acesteia, reprezentarea căldurii sub formă de flux serveşte numai ca o analogie. Conductibilitatea termică nu este o noţiune mecanică, cel puţin pentru faptul că propagarea căldurii este, în general, ireversibilă. Totuşi, propagarea căldurii poate fi considerată ca un flux de fluid care curge de la un punct situat mai sus, spre unul situat mai jos. De îndată însă ce avem în faţă molecule individuale, mecanica intră în drepturi şi modelele mecanice nu mai sînt analogii convenţionale, ci devin modul de descriere autentică a proceselor. În lucrările sale de termodinamică, Maxwell s-a apropiat de limitele particulare ale explicaţiei mecanice; el şi-a dat seama că ansamblele macroscopice de molecule nu se supun legilor mecanicii, ci unor legi mai complicate, care nu sînt reductibile la cele mecanice. Mecanica moleculelor a rămas însă fundamentul microscopic al legilor macroscopice, ireductibile la ea, dar inseparabile de ea.

Maxwell a abordat de pe baza unei concepţii principial diferite teoria cîmpului electromagnetic. Aici, asimilarea proceselor electrodinamice cu mişcarea unui

lichid era cu totul convenţională, ca şi orice alte analogii mecanice.

În articolul *Despre liniile de forţă ale lui Faraday*[1], Maxwell caracterizează metoda pe care intenţionează s-o aplice în construirea electrodinamicii. Întîi, el vrea să aplice numai abstracţii matematice, care au o semnificaţie fizică directă. Vom reveni curînd la această particularitate a metodei lui Maxwell. A doua particularitate constă în caracterul nemecanic al reprezentărilor fizice, care conferă o semnificaţie fizică noţiunilor matematice. Cuvintele „caracter nemecanic" scrise mai sus necesită oarecare explicaţii. În teoriile mecanice cu care am avut de-a face pînă acum era vorba despre variaţia coordonatelor spaţiale ale particulelor în funcţie de timp. Coordonatele particulelor variază într-un mod sau altul pe măsură ce trece timpul, în funcţie de forţele care acţionează asupra particulelor. În concepţia lui Maxwell, o dată cu scurgerea timpului, nu se deplasează obiectul acţiunii forţelor, ci forţa ca atare, intensitatea cîmpului, pe care Faraday o considerase drept o deformaţie a mediului. Aceasta, spre deosebire de deformaţiile mecanice, nu poate fi pusă în legătură cu deplasările particulelor, cum se procedează în privinţa proceselor termice. Procesele termice se supun unor legi specifice, dar sînt inseparabile de mecanica moleculelor. De aceea, ele demostrează limitele particulare ale explicaţiei clasice mecanice a naturii. Fenomenele electrodinamice sînt ireductibile la mecanica particulelor, chiar şi în ultimă instanţă. Ulterior, e drept că s-au putut descoperi particule a căror mişcare este asociată propagării unor deformaţii ale cîmpului. Acestea sînt însă particule specifice, care îmbină proprietăţi ondulatorii şi corpusculare. În cadrul fizicii clasice, înţelegînd prin mecanică tabloul mişcării unor particule cu proprietăţi corpusculare, trebuie să respingem interpretarea mecanică a proceselor electrodinamice. Echivalenţii fizici ai noţiunilor matematice care figurează în electrodinamica lui Maxwell pot fi asimilaţi cu imaginile mecanice doar într-un mod convenţional: explicaţia mecanică este înlocuită printr-o *analogie* mecanică. Maxwell vrea să arate nu numai orientările

[1] J. C. Maxwell, *Scrieri alese asupra teoriei cîmpului electromagnetic*, M., 1954, pp. 11—81. (ed. rusă).

forțelor în fiecare punct, ci și intensitatea lor. „Aceasta se va realiza dacă vom reprezenta curbele considerate nu drept linii pure, ci drept tuburi de secțiune variabilă, prin care curge un fluid incompresibil"[1].

În realitate însă, forțele nu sînt fluide incompresibile. „Substanței despre care este vorba aici nu trebuie să-i atribuim nici o proprietate a fluidelor reale, în afară de capacitatea de mișcare și de rezistență la compresiune. De asemenea, această substanță nu trebuie privită ca un fluid ipotetic în sensul pe care-l admiteau vechile teorii pentru explicarea fenomenelor. Ea este exclusiv un ansamblu de proprietăți fictive, constituit cu scopul de a prezenta unele teoreme ale matematicii pure într-o formă mai intuitivă și mai ușor aplicabilă unor probleme de fizică, decît forma care folosește simboluri pur algebrice"[2].

Metoda analogiilor se bazează pe o supoziție esențială: obiecte fizice de natură diferită pot fi descrise cu ajutorul aceloraşi noțiuni matematice. Această idee a fost exprimată de Maxwell în articolul *Despre clasificarea matematică a mărimilor fizice*, jalon important în evoluția interpretării fizice și a prototipurilor fizice ale noțiunilor matematice. Caracterul neunivoc al interpretării fizice nu înseamnă că noțiunile matematice ar fi independente de conținutul lor fizic. Dimpotrivă, Maxwell deduce noțiunile analizei vectoriale din concepția faradayană asupra cîmpului ca realitate fizică. Aceste construcții îi permit lui Maxwell să vorbească despre „metoda matematică a lui Faraday". Cum poate fi legat numele lui Faraday, ale cărui lucrări nu conțin nici o singură formulă, de o metodă matematică? Fapt este că construcțiile lui Maxwell au fost începutul elaborării fizice a noțiunilor matematice. La Maxwell au sens fizic nu numai noțiunile finale ale construcțiilor sale, ci și cele intermediare. De aceea, deducerea pur matematică a acestor noțiuni ar putea fi înlocuită prin deducerea *fizică* anticipativă unul din altul a echivalenților lor. Maxwell vorbește despre intensitatea, energia și despre potențialul cîmpului magnetic, stabilind astfel noi legături și relații între noțiunile matematice pentru care aceste mărimi servesc drept echivalent fizic. Această metodă

[1] J. C. Maxwell, *op. cit., p. 12.*
[2] *Ibidem*, p. 18.

a modificat considerabil caracterul gîndirii matematice şi, totodată, caracterul construcţiilor fizice. Geometrizarea fizicii şi, „fizicalizarea" geometriei au căpătat o nouă formă în teoria cîmpului. Maxwell consideră două procese fundamentale: 1) excitarea unui cîmp magnetic la mişcarea unor sarcini electrice şi 2) excitarea unui cîmp electric (iar în prezenţa unui conductor, a unui curent electric) sub acţiunea unui cîmp magnetic, adică inducţia electromagnetică descoperită de Faraday. Maxwell a descris aceste procese cu ajutorul unor ecuaţii diferenţiale, adică de la un punct la altul şi de la un moment la altul. Ecuaţiile lui Maxwell au stat la baza electrodinamicii clasice. Pentru a da o idee despre ele sînt necesare unele noţiuni noi.

Forţa de gravitaţie acţionează după dreapta care uneşte particulele ce se atrag. În mod analog acţionează şi cîmpul electric ce determină atracţia dintre sarcini de sens contrar. Cîmpul magnetic ce acţionează între polii unor magneţi îi sileşte de asemenea să tindă unul către altul. Încă în legătură cu descoperirea lui Oersted s-a arătat cum cîmpul magnetic al unui curent acţionează astfel, încît el determină polul magnetic să descrie un cerc în centrul căruia se află conductorul, orientat perpendicular pe planul cercului. Să reducem la un punct cercul pe periferia căruia se mişcă polul magnetic. În conformitate cu aceasta, lucrul mecanic al cîmpului magnetic care determină rotaţia polului magnetic va tinde către zero. Luăm limita raportului dintre lucrul efectuat de polul magnetic, atunci cînd se mişcă pe un cerc, şi aria cercului. Cînd aceste mărimi tind către zero, raportul lor tinde către o anumită mărime, care este limita lor. Această limită se numeşte rotorul cîmpului magnetic. El intervine în ecuaţia scrisă de Maxwell. Intensitatea rotorului cîmpului magnetic depinde de curent, sau, dacă nu avem conductor, de viteza cu care variază cîmpul electric.

Altă ecuaţie a lui Maxwell descrie inducţia electromagnetică. Variaţia în timp a cîmpului magnetic determină apariţia în jurul liniilor cîmpului magnetic a unui cîmp electric. Dacă în acest cîmp se află un conductor, acesta este parcurs de un curent electric. Rotaţia cîmpului electric este proporţională cu viteza de variaţie a cîmpului magnetic, înconjurat de circuitul cu curent.

Să ne imaginăm că, într-un anumit domeniu, a apărut un cîmp electric variabil. El va genera un cîmp magnetic. Cîmpul magnetic va fi variabil şi, de aceea, va genera la rîndul său un cîmp electric. Apariţia acestuia va genera iarăşi un cîmp magnetic. Astfel, se vor propaga în toate direcţiile oscilaţii ale cîmpurilor electric şi magnetic — undele electromagnetice. Viteza acestor unde, calculată de Maxwell, a coincis cu viteza luminii, aflată atunci pe cale experimentală. Această coincidenţă i-a dat lui Maxwell un motiv pentru a considera lumina drept o oscilaţie electromagnetică.

Teoria electromagnetică a luminii se deosebeşte de teoria lui Huyghens şi de toate teoriile mecanice ale eterului prin faptul că în ea nu este vorba despre deplasarea unor părţi ale eterului, în raport cu altele. Aici nu oscilează poziţia unui anumit obiect fizic, ci valoarea unei forţe: a intensităţii cîmpului magnetic şi electric.

Această imagine elementară a tabloului ştiinţific al lumii, nouă în comparaţie cu mişcarea unei particule, a permis să se explice o mulţime de fenomene fizice. Radioundele, razele infraroşii, razele spectrului vizibil, razele ultraviolete, razele Roentgen şi razele γ (gama), emise în cadrul dezintegrării radioactive a nucleelor, nu sînt decît oscilaţii electromagnetice de diferite frecvenţe.

Cu prilejul studiului cîmpurilor care variază cu viteză mare, au fost puse în evidenţă deosebirile concrete dintre principiul acţiunii la distanţă şi principiul acţiunii din aproape în aproape. Cu ajutorul unui experiment putem stabili care dintre aceste concepţii este cea corectă. În adevăr, variaţia cîmpului electric, chiar în lipsa unui conductor (Maxwell denumeşte astfel de variaţie „curent de deplasare", spre deosebire de „curentul de conductibilitate" dintr-un conductor), determină apariţia unui cîmp magnetic, a cărui variaţie generează un cîmp electric şi conduce, astfel, la emiterea unor unde electromagnetice. Energia acestor unde diferă de energia interacţiunii sarcinilor şi a curenţilor. Această diferenţă devine esenţială în cazul unor cîmpuri cu variaţie rapidă.

Realitatea cîmpului a permis să fie găsiţi noi echivalenţi fizici pentru o serie de noţiuni matematice. Dar şi de astă dată, matematica i-a oferit fizicii răspunsuri mai generale şi mai cuprinzătoare decît cele pe care le căuta fizica. Noţiunile matematice au căpătat o nouă

semnificație fizică, dar cu prilejul acesta matematica a primit un impuls foarte puternic și un „parcurs liber" ulterior mare. Drept urmare, au apărut noi noțiuni abstracte, care-și căutau o materializare în noi teorii fizice. Am mai întîlnit, de repetate ori, acest proces de sinteză și generalizare matematică a ideilor fizice. În cazul de față, ideea fizică a cîmpului a condus la o nouă interpretare a noțiunii geometrice de spațiu.

Această nouă interpretare era strîns legată de procesul de geometrizare a fizicii și de fizicalizare a noțiunii de spațiu, pe care îl cunoaștem dinainte. Cîmpul poate fi considerat ca un spațiu în ale cărui puncte diverse corpurile se comportă, în general, în mod diferit. În diversele puncte ale cîmpului electric generat de o sarcină fixă, ale cîmpului magnetic al unui pol magnetic imobil, ale unui cîmp gravitațional, sarcina de probă, polul magnetic de probă sau masa grea de probă vor suferi, în cazul general, o atracție și o respingere de intensitate diferită. În cîmpul magnetic al unui curent, respectiv în diferite puncte ale sale, polul se va mișca cu o accelerație diferită în jurul curentului care generează cîmpul. Putem oare reprezenta deosebirea din comportarea corpurilor în spațiu sub forma unor deosebiri dintre proprietățile geometrice ale spațiului însuși? Putem explica oare comportarea corpului prin natura unor relații geometrice?

Ideea acestei posibilități a apărut cu mult înaintea electrodinamicii lui Maxwell. Ea a fost rezultatul generalizării noțiunilor geometriei. Nu este nevoie să repetăm că aceste generalizări nu constituie un proces logic, ci unul istoric, care însă nu este legat de probleme tehnice sau științifice determinate, ci de progresul general al gîndirii și al practicii umane.

Ideea posibilității de a-i atribui spațiului proprietăți geometrice diferite, în funcție de procesele fizice care au loc în el, s-a dezvoltat din geometria neeuclidiană. După cum se știe, postulatul euclidian al paralelelor (dintr-un punct exterior unei drepte se poate duce o dreaptă și numai una care nu o intersectează pe cea dată) nu a putut fi dedus din alte axiome. În 1826, N. I. Lobacevski (1792—1856) a propus o geometrie necontradictorie, în care, dintr-un punct exterior unei drepte, se poate duce o infinitate de drepte, care nu o intersectează

pe cea dată. În conformitate cu aceasta, în geometria lui Lobacevski suma unghiurilor unui triunghi este mai mică decît două unghiuri drepte, pătratul ipotenuzei nu este egal cu suma pătratelor catetelor și, în genere, în această geometrie sînt valabile alte relații decît în geometria lui Euclid. Menționăm că în geometria lui Lobacevski, suma unghiurilor unui triunghi diferă cu atît mai mult de două unghiuri drepte, cu cît aria triunghiului este mai mare. În cazul unui triunghi mic, această sumă o putem considera, cu o aproximație legitimă, ca fiind egală cu două unghiuri drepte, însă la proporții foarte mari, cosmice, diferența va deveni sensibilă.

Geometria neeuclidiană a lui Lobacevski a dat un impuls creării unor geometrii necontradictorii, care diferă prin relațiile lor fundamentale. Ulterior, aceste geometrii au dat posibilitatea de a geometriza o serie de legi fizice, de a le pune în legătură cu proprietățile geometrice ale diverselor spații.

Între 1850 și 1860 a apărut geometria neeuclidiană a lui Riemann (1826—1866). În această geometrie, printr-un punct exterior unei drepte nu putem duce nici o dreaptă paralelă cu cea dată. Două drepte care ni se par paralele sfîrșesc inevitabil prin a se intersecta, dacă le prelungim. De aici rezultă relații geometrice diferite atît de cele din geometria lui Euclid, cît și de cele din geometria lui Lobacevski. În particular, în geometria lui Riemann suma unghiurilor unui triunghi nu este egală cu două unghiuri drepte, ca în geometria lui Euclid, nici mai mică decît două unghiuri drepte, ca în cea a lui Lobacevski, ci mai mare decît două unghiuri drepte, acest exces fiind cu atît mai mare cu cît crește aria triunghiului. Perpendicularele pe o dreaptă nu sînt paralele ca în geometria euclidiană și nu diverg ca în geometria lui Lobacevski, ci converg. De asemenea, în această geometrie, atît lungimea ipotenuzei, exprimată prin lungimile catetelor, cît și, corespunzător, distanța dintre puncte, exprimată prin diferența dintre coordonatele lor, diferă de expresiile ce figurează în geometria euclidiană și în cea lobacevskiană.

Aceste relații geometrice, greu imaginabile, pot căpăta o formă foarte simplă și clară în cazul considerării a două dimensiuni. Să luăm suprafața unei sfere. Relațiile geometrice euclidiene pe sferă se deosebesc de relațiile

geometrice euclidiene pe o suprafață plană, dar nu se deosebesc de relațiile riemanniene în plan. În adevăr, dacă trasăm pe sferă un triunghi, apoi un triunghi mai mare care-l cuprinde, apoi altul și mai mare, vom constata că în triunghiul cel mic desenat pe sferă, suma unghiurilor diferă puțin de două unghiuri drepte, iar în triunghiurile mari se manifestă sensibil curbura suprafeței, ea fiind cu atît mai mare (suma unghiurilor depășește două unghiuri drepte), cu cît triunghiul desenat pe sferă ocupă o parte mai mare a suprafeței ei. Așadar, abaterea de la relațiile euclidiene în plan, în direcția relațiilor riemanniene, este echivalentă cu o curbare a acestui plan, cu transformarea lui într-o suprafață sferică. Pe suprafața sferică, dreptelor le corespund alte linii de distanță minimă (liniile geodezice), adică arcele de cerc mare. Aceste linii se comportă ca dreptele din geometria plană riemanniană; de exemplu, meridianele, care sînt perpendiculare pe ecuator, se intersectează în poli. În general, putem considera trecerea de la relațiile geometrice euclidiene la cele riemanniene ca pe o curbare care transformă planul într-o suprafață sferică.

În mod analog, putem prezenta și trecerea de la geometria euclidiană la cea lobacevskiană. Să desenăm un triunghi, format din geodezice, pe suprafața unei pîlnii de gramofon sau pe o șa și vom constata că suma unghiurilor sale este mai mică decît două unghiuri drepte; în aceste condiții, la un triunghi mic, care cuprinde o suprafață prea puțin diferită de una plană, diferența este mică, iar la triunghiurile mari de pe suprafața în formă de șa, ea devine considerabilă.

Să ne oprim asupra geometriilor neeuclidiene, care prezintă un deosebit interes din punctul de vedere al istoriei generale a științei.

Lobacevski compară geometria euclidiană cu cea nouă, neeuclidiană. Ambele sînt necontradictorii. Ce servește atunci drept criteriu pentru alegerea univocă a uneia din aceste geometrii diferite, spre a atribui spațiului real proprietăți geometrice euclidiene sau neeuclidiene? Criteriul noncontradicției logice nu ne permite să facem o alegere univocă. Lobacevski propune un alt criteriu, anume el vorbește despre domenii diferite: regiunile terestre, relativ mici, în care geometria euclidiană este o descriere suficient de precisă a relațiilor spațiale, și

regiunile cosmice, pentru care abaterea de la relaţiile euclidiene este sensibilă. Noţiunea de „sensibil" are aici o semnificaţie fizică. Relaţiile geometrice exprimă proprietăţi anumite ale unor procese şi obiecte fizice, iar unele proprietăţi sînt esenţiale numai în regiuni mari sau, dimpotrivă, în regiuni foarte mici şi neesenţiale în regiuni de altă dimensiune.

Într-un triunghi mic, suma unghiurilor poate fi considerată egală cu două unghiuri drepte; în triunghiuri mari trebuie să ţinem seama de relaţii neeuclidiene şi să considerăm suma unghiurilor unui triunghi mai mică decît două unghiuri drepte în geometria lui Lobacevski, şi mai mare (suma respectivă) în geometria lui Riemann.

În ştiinţa clasică a secolelor al XVII-lea—al XVIII-lea, trecerea de la microcosm la Cosmos nu este însoţită de trecerea la alte legi ale existenţei.

În secolele al XVII-lea—al XVIII-lea, Universul apărea ca o ierarhie de structuri care se repetă una pe alta. Ecourile unor astfel de idei au răsunat şi în secolul nostru, cînd Briusov scria despre electroni ca despre o lume „. . . în care sînt cinci continente, arte, ştiinţe, războaie, tronuri şi memoria a patruzeci de veacuri", iar Galaxia era considerată drept un fir de nisip, aflat sub microscopul unui observator supragalactic.

În esenţă însă, toate acestea nu mai corespundeau nici măcar ştiinţei secolului al XIX-lea, care a atribuit diverselor domenii spaţiale legi specifice. Se poate spune că ideea dependenţei relaţiilor geometrice de dimensiunile spaţiului este apropiată de spiritul ştiinţei din secolul al XIX-lea, în care concepţiile fizice au căpătat sfere de aplicaţie determinate şi au trecut în alte concepţii, în concordanţă cu trecerile reale de la o formă de mişcare la alta.

Această asemănare nu trebuie însă exagerată. În ştiinţa secolului al XIX-lea, legile Cosmosului şi ale microcosmusului sînt diferite, însă ştiinţa acestui secol nu vede cîtuşi de puţin cauza acestei deosebiri în proprietăţile geometrice ale spaţiului. Pentru a reprezenta deosebirea dintre legile existenţei sub formă de deosebiri ale caracterului relaţiilor geometrice, trebuia stabilit ce cîmpuri de forţe domină în regiuni de dimensiuni diferite, urmînd ca aceste cîmpuri să fie apoi reprezentate sub formă de proprietăţi ale spaţiului. În această privinţă, sînt interesante observaţiile lui Lobacevski, în

care el pune în legătură criteriul fizic pentru alegerea geometriei euclidiene sau a celei neeuclidiene, nu numai cu dimensiunile regiunii considerate, ci şi cu caracterul cîmpurilor de forţe care acţionează în diversele regiuni.

Aceste observaţii rezultă din ideile cele mai generale şi fundamentale ale lui Lobacevski despre legătura dintre geometrie şi lumea reală a materiei în mişcare. În *Noi principii de geometrie* (1835—1838), Lobacevski scrie:

„În natură cunoaştem propriu-zis numai mişcarea, fără de care impresiile simţurilor sînt imposibile. Aşadar, toate celelalte noţiuni, de exemplu cele geometrice, sînt produse de mintea noastră, în mod artificial, fiind extrase din proprietăţile mişcării, şi de aceea spaţiul ca atare, separat, nu există pentru noi. După aceasta, nu mai poate fi în mintea noastră nici o contrazicere cînd admitem că unele forţe din natură urmează o Geometrie, iar altele o Geometrie al lor, deosebită". Forţele gravitaţionale descresc proporţional cu pătratul distanţei, adică aşa cum creşte suprafaţa unei sfere, pe măsură ce ne îndepărtăm de centrul ei, în geometria euclidiană. În geometria neeuclidiană, suprafaţa unei sfere se defineşte altfel. Lobacevski spune că „... unei astfel de geometrii i se supun forţele moleculare". Forţele depind de distanţe, continuă Lobacevski, iar relaţiile geometrice poate că depind şi ele de acestea. Dependenţa de distanţă a forţelor poate fi stabilită experimental, pe cînd dependenţa de distanţe a relaţiilor geometrice poate fi doar presupusă „... mental, fie dincolo de limitele lumii vizibile, fie în sfera îngustă a atracţiilor moleculare"[1].

Ideea exprimată aici despre legătura dintre relaţiile geometrice şi cîmpurile de forţe şi-a găsit o dezvoltare în celebra prelegere a lui Riemann *Despre ipotezele care stau la baza geometriei,* ţinută în 1854 la Göttingen, descoperită ulterior de către Dedekind în hîrtiile lui Riemann şi publicată în 1868[2].

În această prelegere, Riemann, pe lîngă alte noţiuni matematice fundamentale, consideră metrica spaţiului. După coordonatele a două puncte putem afla lungimea

[1] N. I. Lobacevski, *Opere complete*, vol. II, M.—L., 1949, p. 159 (ed. rusă).

[2] Vezi Riemann, *Opere alese*, 11.—L., pp. 279—293 (ed. rusă);

Despre bazele geometriei (culegere de lucrări clasice), M., 1956, pp. 309—341 (ed. rusă).

segmentului care le unește. Dacă ne este cunoscută formula cu ajutorul căreia putem afla această lungime, spunem că în acest spațiu a fost definită o metrică. De exemplu, în spațiul care se supune geometriei euclidiene, pătratul distanței dintre două puncte este egal cu suma pătratelor diferențelor coordonatelor lor, pe cînd într-un spațiu descris de o geometrie neeuclidiană, metrica este alta. Depinde oare metrica spațiului de procesele care au loc în el? Variază ea oare în domeniile microscopice, în comparație cu cele macroscopice? La aceste întrebări, puse de Riemann la jumătatea secolului al XIX-lea, a răspuns secolul al XX-lea. Dar încă nu complet.

Răspunsul a fost legat de ideile fizice dezvoltate din teoria cîmpului electromagnetic. Ne-am lovit aici din nou de interacțiunea complicată dintre teoriile fizice și concepțiile matematice, pe care o cunoaștem și care s-a repetat de mai multe ori în istoria științei. Matematica generalizează noțiunile la care a ajuns, sub influența dezvoltării teoriilor fizice, pregătind astfel teorii fizice noi, mai generale. Acestea din urmă par, de aceea, o interpretare a unor noțiuni matematice deja existente. În realitate însă, numai experimentul ne permite să aflăm noile prototipuri fizice ale noțiunilor matematice, iar în ultimă instanță, numai practica ne dă impulsurile necesare pentru desfășurarea cercetărilor experimentale și teoretice care conduc la descoperirea unor noi legi fizice.

În cazul de față, procesul istoric constă din aplicarea practică a teoriei cîmpului electromagnetic, legată de electrificarea producției și de progresele tehnico-științifice care au rezultat din folosirea electricității. Anii 1890—1910 au marcat apariția unor mari laboratoare de cercetări electrotehnice, mecanice și chimice, lărgirea fără precedent a investigațiilor experimentale, o legătură de altă natură decît cea din trecut dintre experiment și teorie, o nouă tehnică a măsurătorilor mecanice, electrice și optice. Toate acestea au condus, în cele din urmă, la o nouă reprezentare asupra propagării undelor electromagnetice, la ideea vitezei constante a propagării lor în diverse sisteme care se deplasează unul în raport cu altul. Din aceste reprezentări a apărut o nouă teorie asupra spațiului, timpului și mișcării.

CAPITOLUL XVI

TEORIA RELATIVITĂȚII

Spre a ne da seama de importanța teoriei relativității a lui Einstein pentru evoluția principiilor fundamentale ale tabloului științific al lumii, trebuie să ne oprim întîi asupra celor mai generale noțiuni de relativitate a poziției și mișcării corpurilor și de omogenitate a spațiului și a timpului. Am mai întîlnit aceste noțiuni cu prilejul expunerii principiului clasic al relativității și a principiilor conservării impulsului și energiei. Acum este cazul să repetăm cele arătate înainte, urmînd să trecem apoi de la spațiul omogen și de la timpul omogen la spațiul-timp izotrop și omogen, care figurează în teoria lui Einstein.

Să ne imaginăm o particulă materială pierdută în spațiul infinit absolut vid. Ce înseamnă, în acest caz, cuvintele „poziția spațială" a particulei? Corespunde oare acestor cuvinte vreo proprietate reală a particulelor?

Dacă în spațiu ar exista alte corpuri, am putea determina în raport cu ele poziția particulelor noastre; dar, dacă spațiul este vid, poziția unei particule date este o noțiune fără conținut. Poziția spațială a unei particule are sens fizic numai în cazul în care există în spațiu și alte corpuri care servesc drept corpuri de referință. Dacă vom lua în calitate de corpuri de referință diferite particule, vom ajunge la definiții diferite ale poziției spațiale a particulei noastre. Oricărei particule îi putem asocia un anumit sistem de referință, de exemplu un sistem de coordonate rectangulare. Astfel de sisteme

sînt echivalente: indiferent de sistemul de referinţă în care am defini poziţia punctelor din care este constituit un corp dat, dimensiunile şi forma corpului vor fi aceleaşi şi, măsurînd distanţa dintre puncte, nu vom găsi un criteriu pentru a deosebi un sistem de referinţă de altul. Putem aşeza originea coordonatelor în orice punct al spaţiului, putem transfera apoi această origine în orice alt punct, sau să rotim axele, sau să facem şi una şi alta, oricum, forma şi dimensiunile corpurilor nu se vor schimba la o astfel de translaţie sau rotaţie, deoarece distanţa dintre două puncte oarecare fixate ale corpului nu va varia. Constanţa acestei distanţe cînd trecem de la un sistem de referinţă la altul se numeşte *invarianţă* în raport cu această trecere. Spunem că distanţele dintre punctele unui corp sînt *invariante* la trecerea de la un sistem de coordonate rectangulare la altul, cu o altă origine şi cu altă orientare a axelor. Distanţele dintre punctele corpului sînt invarianţi în aceste transformări de coordonate. Invarianţa distanţelor dintre puncte exprimă omogenitatea spaţiului, echivalenţa tuturor punctelor sale în cadrul alegerii originii coordonatelor.

Dacă punctele spaţiului sînt echivalente, nu putem defini în mod absolut poziţia spaţială a unui corp, nu putem găsi un sistem de referinţă privilegiat. Cînd vorbim despre poziţia unui corp, adică despre coordonatele punctelor sale, este necesar să indicăm sistemul de referinţă. În acest sens, „poziţia spaţială" este o poziţie relativă — o mulţime de mărimi care variază cînd trecem de la un sistem de coordonate la altul, spre deosebire de distanţele dintre puncte care nu se schimbă în cadrul unei astfel de treceri.

Omogenitatea spaţiului îşi găseşte expresia, mai departe, în faptul că un corp liber, care trece dintr-un loc în altul, îşi conservă aceeaşi viteză şi, corespunzător, îşi conservă impulsul pe care l-a dobîndit. Orice variaţie a vitezei, deci şi a impulsului, nu se explică prin aceea că respectivul corp s-a deplasat în spaţiu, ci printr-o interacţiune dintre corpuri. Atribuim variaţia impulsului aparţinînd unui corp dat, unui anumit cîmp de forţe în care a nimerit corpul considerat.

Cunoaştem şi omogenitatea timpului. Ea îşi găseşte expresia în conservarea energiei. Dacă în cursul timpu-

lui nu variază acțiunea exercitată asupra corpului nostru de către alte corpuri, cu alte cuvinte, dacă celelalte corpuri acționează în același mod asupra corpului nostru, energia lui se conservă. Atribuim variația energiei corpului, variațiilor în timp ale forțelor exterioare care acționează aspura lui, și nu timpului însuși. Timpul ca atare nu modifică energia sistemului, și, în acest sens, toate punctele sînt echivalente. Nu putem găsi în timp un moment privilegiat, după cum nici în spațiu nu putem găsi un punct care să se deosebească de alte puncte prin comportarea unei particule care a nimerit în acest punct. Dat fiind că momentele timpului sînt echivalente, putem începe numărătoarea timpului de la indiferent ce moment, proclamîndu-l moment inițial. Considerînd desfășurarea unor evenimente, ne convingem că ele decurg într-un mod invariabil, indiferent de alegerea momentului inițial, de originea măsurătorii timpului.

Am putea spune că timpul este relativ în sensul că, la trecerea de la o origine a timpului la alta, descrierea evenimentelor rămîne valabilă și nu necesită o reconsiderare. De obicei însă, mai înțelegem și altceva prin relativitatea timpului. În sensul simplu și evident al independenței desfășurării evenimentelor de alegerea momentului inițial, relativitatea timpului nu ar putea deveni fundamentul unei teorii noi, evidente, care să răstoarne reprezentarea uzuală asupra timpului.

Vom înțelege prin relativitatea *timpului* dependența curgerii timpului de alegerea sistemului de referință *spațial*. În mod corespunzător, se numește timp absolut, după cum am mai arătat în capitolul VIII, cînd am expus fundamentele mecanicii newtoniene, timpul care nu depinde de alegerea sistemului de coordonate spațial, care curge uniform în toate sistemele de referință ce se mișcă unul în raport cu altul, o succesiune de momente care survin simultan în toate punctele spațiului. În fizica clasică a existat reprezentarea de flux al timpului, care nu depinde de mișcările reale ale unui corp, reprezentarea unui timp care curge cu aceeași viteză în întregul Univers. Ce proces real stă la baza acestei reprezentări a timpului absolut, asupra clipei care survine simultan în puncte îndepărtate ale spațiului?

Să reamintim condițiile identificării timpului în diversele puncte ale spațiului.

Timpul unui eveniment care se produce într-un punct a_1 și timpul unui eveniment care se produce într-un punct a_2 pot fi identificate, dacă evenimentele sînt legate între ele prin acțiunea instantanee a unui eveniment asupra celuilalt. Fie, în punctul a_1 un corp solid, legat printr-o bară absolut rigidă, perfect nedeformabilă, de corpul aflat în punctul a_2. Un impuls comunicat corpului din punctul a_1 se transmite instantaneu cu o viteză infinită corpului din punctul a_2 prin intermediul barei. Ambele corpuri se vor mișca din loc în aceeași clipă. Numai că în natură nu există bare absolut rigide, nu există acțiuni instantanee ale unui corp asupra altuia. Interacțiunile corpurilor se transmit cu o viteză finită, care nu depășește niciodată viteza luminii. În bara care unește corpurile apare o deformație în urma impulsului, iar aceasta se propagă cu o viteză finită de la un capăt al barei la celălalt, după cum un semnal luminos se mișcă cu o viteză finită de la izvorul luminos la ecran. În natură nu există procese fizice instantanee care să lege între ele evenimente produse în puncte îndepărtate unul de altul ale spațiului. Noțiunea „un același moment al timpului" are un sens absolut cîtă vreme avem de-a face cu mișcări lente ale corpurilor și putem atribui o viteză infinită unui semnal luminos, unui impuls transmis printr-o bară rigidă, sau oricărei interacțiuni a unor corpuri în mișcare. În lumea mișcărilor rapide, în comparație cu care nu mai putem să atribuim o viteză infinită propagării luminii și a interacțiunilor dintre corpuri, noțiunea de simultaneitate are o semnificație relativă și trebuie să renunțăm la imaginea obișnuită a timpului unic, care curge în tot Universul și care este o succesiune de momente identice, simultane în puncte diferite ale spațiului.

Fizica clasică ia ca punct de plecare această imagine. Ea admite că o aceeași clipă survine pretutindeni: pe Pămînt, pe Soare, pe Sirius, în nebuloasele extragalactice care sînt situate atît de departe de noi, încît lumina ne vine de la ele în miliarde de ani.

Dacă interacțiunile corpurilor (de exemplu, forțele de gravitație care leagă între ele toate corpurile din natură) s-ar propaga instantaneu, cu o viteză infinită, am putea vorbi despre coincidența momentului cînd un corp începe să acționeze asupra altuia și a momentului cînd al doilea corp, depărtat de primul, suferă această

acțiune. Vom denumi *semnal* acțiunea unui corp asupra unui alt corp care este așezat la o distanță anumită de la el. Transmiterea instantanee a semnalului este baza identificării momentelor care survin în puncte depărtate ale spațiului. Această identificare poate fi reprezentată sub forma sincronizării unor ceasornice. Problema constă în următoarele: un ceasornic din punctul a_1 și unul din punctul a_2 să indice același timp. Dacă există semnale instantanee, problema nu prezintă dificultăți. Ceasornicele ar putea fi sincronizate prin radio, printr-un semnal luminos, printr-o lovitură de tun, printr-un impuls mecanic (de exemplu, așezînd acele ceasornicelor din a_1 și a_2 pe un ax lung, absolut rigid), dacă radioundele, lumina, sunetul și tensiunile mecanice din ax s-ar transmite cu o viteză infinită. În acest caz, am putea vorbi despre relații pur spațiale în natură, despre procese care au loc într-un interval de timp nul. În conformitate cu aceasta, geometria tridimensională ar avea prototipuri fizice reale. În acest caz, spațiul ar putea fi considerat în afara timpului, independent de timp, iar această concepție ar da o reprezentare exactă asupra realității. Semnalele instantanee extratemporale servesc drept echivalent fizic direct al geometriei tridimensionale. Vedem că geometria tridimensională își găsește un prototip direct în mecanica clasică, care cuprinde reprezentarea de viteză infinită a semnalelor, de propagare instantanee a interacțiunilor între corpuri depărtate. Mecanica clasică admite că există procese fizice reale, care pot fi descrise cu absolută precizie printr-o fotografie instantanee. Fotografia instantanee, bineînțeles stereoscopică, este un fel de secțiune spațială tridimensională a lumii spațio-temporale, este lumea cvadridimensională a evenimentelor, considerată la un același moment dat.

Interacțiunea infinit de rapidă este un proces care poate fi descris în limitele unei astfel de secțiuni tridimensionale, pur spațiale, în limitele unui tablou instantaneu, extratemporal al lumii.

Însă teoria cîmpului, ca mediu fizic real, excludea acțiunea instantanee la distanță a lui Newton și propagarea instantanee a semnalelor prin mediul intermediar. Nu numai sunetul, dar și lumina și semnalele radio au

o viteză finită. Viteza luminii este viteza limită a semnalelor.

Care este, în acest caz, semnificația fizică a simultaneității? Ce corespunde succesiunii unor momente identice pentru întregul Univers? Ce corespunde noțiunii de flux unic al timpului, care curge uniform în lumea întreagă?

Putem găsi o anumită semnificație fizică a noțiunii de simultaneitate, atribuind astfel o realitate autonomă aspectului pur spațial al existenței, pe de o parte, și timpului absolut, pe de altă parte, chiar în cazul în care toate acțiunile se propagă cu o viteză finită. Dar condiția pentru aceasta este existența eterului cosmic în ansamblu imobil, precum și posibilitatea de a defini în mod absolut vitezele corpurilor în mișcare, raportîndu-le la eter, acesta avînd calitatea de corp de referință privilegiat unic.

Să ne închipuim o navă avînd cîte un ecran la proră și la pupă. În centrul navei, la distanță egală de ambele ecrane, se aprinde un felinar. Lumina felinarului atinge în același timp ecranele, iar clipele cînd se produce aceasta pot fi identificate. Lumina cade pe ecranul de la proră în aceeași clipă în care cade și pe ecranul de la pupă. Așadar, găsim un prototip fizic al simultaneității.

Sincronizarea cu ajutorul unor semnale luminoase sosite simultan în două puncte de la un izvor situat la egală distanță de ele este posibilă dacă izvorul luminos și cele două puncte menționate sînt în repaus în eterul cosmic, adică atunci cînd nava este fixă în raport cu eterul. Sincronizarea este posibilă și în cazul în care nava se mișcă în eter. În acest caz, lumina va ajunge pînă la ecranul de la proră ceva mai tîrziu, iar pînă la ecranul de la pupă ceva mai devreme. Cunoscînd însă viteza navei în raport cu eterul, putem determina avansul dintre raza care se îndreaptă spre ecranul de la pupă, precum și întîrzierea razei care se îndreaptă spre proră și, ținînd seama de avansul menționat și de întîrzierea menționată, putem să sincronizăm ceasornicele dispuse la pupă și la proră. Mai departe, putem sincroniza ceasornice de pe două nave care, în raport cu eterul, se mișcă cu viteze diferite, însă constante și cunoscute. Dar pentru aceasta, este iarăși necesar ca vitezele na-

velor în raport cu eterul să aibă un sens determinat şi o valoare determinată.

Aici sînt posibile două cazuri. Dacă, în mişcarea ei, nava antrenează total eterul situat între felinar şi ecran, nu se va produce o întîrziere a razei care se propagă spre ecranul de la proră. În cazul antrenării totale a eterului, nava nu se deplasează în raport cu eterul de deasupra punţii, iar viteza luminii în raport cu nava nu va depinde de mişcarea acesteia. Totuşi, vom putea înregistra mişcarea navei cu ajutorul unor efecte optice. Viteza luminii nu va varia în raport cu nava, dar va varia în raport cu ţărmul. Să presupunem că nava se mişcă în lungul cheiului: pe chei sînt două ecrane a_1 şi a_2, distanţa dintre ele fiind egală cu distanţa dintre ecranele de pe navă. Cînd ecranele de pe nava în mişcare ajung în dreptul ecranelor de pe chei, felinarul din centrul navei se aprinde. Dacă nava antrenează eterul, lumina felinarului va ajunge simultan la ecranul de la pupă şi la cel de la proră, dar în acest caz lumina va ajunge la momente diferite pînă la ecranele de pe cheiul imobil. Într-un sens, viteza mişcării navei în raport cu cheiul se va aduna la viteza luminii, iar în celălalt viteza mişcării navei va trebui scăzută din viteza luminii. Acest rezultat — vitezele diferite ale luminii în raport cu ţărmul — se va obţine dacă nava antrenează eterul. Dacă însă nava nu antrenează eterul, lumina se va mişca cu aceeaşi viteză în raport cu ţărmul şi cu viteză diferită în raport cu nava. Aşadar, variaţia vitezei luminii va fi, în ambele cazuri, un rezultat al mişcării navei. Dacă nava se mişcă antrenînd eterul, viteza variază în raport cu ţărmul; dacă însă nava nu antrenează eterul, atunci viteza luminii variază în raport cu nava.

La jumătatea secolului al XIX-lea, tehnica experimentelor şi măsurătorilor optice a permis să se pună în evidenţă diferenţe foarte mici ale vitezei luminii. S-a putut verifica dacă în mişcarea lor, corpurile antrenează sau nu eterul. În 1851, Fizeau (1819—1896) a demonstrat că eterul nu este antrenat de corpurile în mişcare. Viteza luminii, raportată la corpuri imobile, nu se schimbă dacă lumina trece prin medii mobile. Fizeau a lăsat să treacă o rază de lumină printr-un tub fix, prin care curgea apă. În fond, apa juca rolul navei în mişcare, iar tubul, pe cel al ţărmului fix. Rezultatul experimen-

tului lui Fizeau a condus la tabloul unei mișcări a corpurilor în eterul imobil, fără antrenarea eterului. Viteza acestei mișcări poate fi determinată după întîrzierea razei care ajunge din urmă corpul (de exemplu, raza care se îndreaptă spre ecranul de la prora navei în mișcare), față de raza care se mișcă în întîmpinarea corpului (de exemplu, în comparație cu raza felinarului care se îndreaptă spre ecranul de la pupă). Astfel, după cum se credea atunci, se putea face distincție între un corp fix în raport cu eterul și un corp care se mișcă în eter. În primul, viteza luminii este aceeași în toate direcțiile, în al doilea, ea variază în funcție de direcția razei. Există o deosebire absolută între repaus și mișcare; aceste stări se deosebesc prin caracterul proceselor optice în medii aflate în repaus și în medii în mișcare.

Acest punct de vedere a permis să se vorbească despre simultaneitatea absolută a unor evenimente și despre posibilitatea unei sincronizări absolute a ceasornicelor. Semnalele luminoase ajung în aceeași clipă la puncte dispuse la aceeași distanță față de un izvor fix. Dacă izvorul luminos și ecranele se mișcă însă în raport cu eterul, putem determina și lua în considerare întîrzierea semnalului luminos, provocată de această mișcare, socotind drept un același moment: 1) momentul cînd lumina ajunge la ecranul din față, cu corecția de întîrziere și 2) momentul cînd lumina ajunge la ecranul din spate, cu corecția de avans. Deosebirea dintre viteza de propagare a luminii în aceste condiții va atesta mișcarea izvorului luminos și a ecranelor în raport cu eterul — corpul de referință absolut.

Experimentul care trebuia să arate variația vitezei luminii în corpurile în mișcare și, corespunzător, caracterul absolut al mișcării acestor corpuri a fost efectuat în 1881 de către Michelson (1852—1931). Ulterior, acest experiment a fost reluat în repetate rînduri. În fond, experimentul lui Michelson corespundea comparării vitezei semnalelor ce se propagă spre ecranele de la pupa și prora unei nave în mișcare, însă în calitate de navă a fost folosit Pămîntul, care se mișcă în spațiu cu o viteză de circa 30 km/s. Mai departe, nu s-a comparat viteza razei care ajunge din urmă corpul și a razei ce se mișcă în întîmpinarea corpului, ci viteza de propagare a luminii în direcție longitudinală și transversală.

În instrumentul folosit în experimentul lui Michelson (un interferometru), o rază se propaga în sensul mișcării Pământului, după brațul longitudinal al interferometrului, iar cealaltă rază, după brațul transversal. Diferența dintre vitezele acestor raze trebuia să demonstreze dependența vitezei luminii în instrument de mișcarea Pământului.

Rezultatele experimentelor lui Michelson au fost negative. La suprafața Pământului, lumina se mișcă în toate direcțiile cu aceeași viteză.

Această concluzie părea cu totul paradoxală. Ea trebuia să conducă la renunțarea principială la regula clasică a compunerii vitezelor. Viteza luminii este una și aceeași în toate corpurile care se mișcă uniform și rectiliniu unul în raport cu altul. Lumina trece cu o viteză constantă: $c = 300\,000$ km/s, pe lîngă un corp imobil, pe lîngă un corp care se mișcă în întîmpinarea ei și pe lîngă un corp pe care-l ajunge din urmă. Lumina este așadar un călător care înaintează pe linia ferată, între șine, cu o aceeași viteză față de un tren venind din direcție contrară, față de un tren care se mișcă în acelasi sens cu el, față de linia ferată însăși, față de un avion care zboară deasupra lui etc., sau față de un pasager care se mișcă în vagonul unui tren cu aceeași viteză în raport cu vagonul și în raport cu Pământul.

Pentru a se renunța la principiile clasice, care păreau perfect evidente și peremptorii, a fost nevoie de forța genială și de îndrăzneala gîndirii fizice. Predecesorii imediați ai lui Einstein s-au apropiat foarte mult de teoria relativității, dar ei n-au reușit să facă pasul hotărîtor, nu au știut să admită că lumina se propagă în mod real, și nu aparent, cu aceeasi viteză în raport cu corpurile ce se deplasează unul față de altul.

Lorentz (1853—1928) a propus o teorie care menținea eterul imobil și regula clasică a compunerii vitezelor, fiind totodată compatibilă cu rezultatele experimentelor lui Michelson. Lorentz a presupus că toate corpurile în mișcare suferă o contracție longitudinală, micșorîndu-și lungimea după direcția mișcării.

Dacă *toate* corpurile își reduc dimensiunile longitudinale, nu putem pune în evidență această contracție printr-o măsurătoare directă, de exemplu aplicînd o riglă gradată peste o bară în mișcare. În aceste condiții, se

mişcă şi rigla, deci se micşorează corespunzător şi lungimea ei şi dimensiunile gradaţiilor sale. Contracţia lorentziană compensează variaţiile vitezei luminii, determinate de mişcarea corpului în raport cu eterul. Raza luminoasă se mişcă mai încet în ramura longitudinală a interferometrului, însă această ramură a devenit ea însăşi mai scurtă din cauza mişcării, iar lumina îşi parcurge drumul în această ramură (longitudinală) în acelaşi timp cu raza din ramura transversală. De aceea, diferenţa de viteză a luminii se compensează şi nu poate fi pusă în evidenţă. Aşadar, Lorentz consideră constanţa vitezei luminii, stabilită de Michelson, ca pe un rezultat pur fenomenologic de compensare reciprocă a două efecte de mişcare: micşorarea vitezei luminii şi contracţia distanţei pe care o parcurge. Din acest punct de vedere, regula clasică a compunerii vitezelor rămîne în întregime valabilă. Caracterul absolut al mişcării se conservă, variaţia vitezei luminii există; prin urmare, mişcarea poate fi raportată nu la alte corpuri echivalente cu un corp dat, ci la un corp de referinţă universal: eterul imobil. Contracţia are un caracter absolut, există o lungime adevărată a barei. Este lungimea barei în repaus faţă de eter, cu alte cuvinte a barei care este în repaus în sens absolut.

În 1905, Albert Einstein (1879—1955) a publicat articolul *Contribuţii la electrodinamica corpurilor în mişcare*. În acest articol este expusă o teorie care exclude existenţa unui corp de referinţă absolut şi a unui sistem de coordonate privilegiat pentru mişcarea rectilinie şi uniformă. Teoria lui Einstein exclude timpul absolut, independent de un sistem de referinţă spaţial, şi renunţă la regula clasică a compunerii vitezelor. Einstein ia ca punct de plecare constanţa esenţială a vitezei luminii, faptul că viteza luminii este efectiv aceeaşi în sisteme diferite care se mişcă unul în raport cu altul. La Lorentz, mişcarea absolută a corpurilor conduce la o variaţie a vitezei luminii în aceste corpuri şi are astfel o semnificaţie fizică reală. Ea — această mişcare absolută — se ascunde de observatori, datorită contracţiei dimensiunilor longitudinale, care escamotează efectul optic al mişcării absolute. La Einstein, mişcarea absolută nu se ascunde de observator; ea este, pur şi simplu, inexistentă.

Dacă mişcarea în raport cu eterul nu provoacă nici un fel de efecte în corpurile în mişcare, ea este o noţiune lipsită de conţinut fizic. Eterul, ca un corp de referinţă absolut în repaus, perfect imobil, dispare din tabloul lumii. O dată cu el dispare noţiunea de mişcare rectilinie uniformă absolută, raportată la eter. Această mişcare nu are criterii interioare, ea nu este însoţită de o variaţie a mersului proceselor în corpul însuşi şi putem vorbi despre ea numai în cazul prezenţei unui alt corp, corpul de referinţă.

Procesele optice din corp nu pot fi un criteriu al mişcării sale uniforme şi rectilinii. Mişcarea uniformă şi rectilinie a corpului A nu modifică mersul proceselor optice, ea are un sens relativ, trebuie să fie raportată la un alt corp B şi constă în variaţia distanţei dintre A şi B. Putem, cu acelaşi drept, să atribuim rolul de corp de referinţă, adică să atribuim imobilitate corpului A sau corpului B; propoziţia „corpul A se mişcă în raport cu corpul B" şi propoziţia „corpul B se mişcă în raport cu A" descriu aceeaşi situaţie. Numai acesta este sensul pe care-l are mişcarea rectilinie şi uniformă. Ea este raportată la corpuri concrete; putem raporta mişcarea corpului A la corpuri de referinţă diferite, obţinînd valori diferite ale vitezei sale, dar nici un corp de referinţă absolut de tipul eterului nu trebuie să figureze în tabloul ştiinţific al lumii. Mişcarea corpurilor în raport cu eterul, deci şi mişcarea eterului în raport cu corpurile, nu are semnificaţie fizică.

Este eliminată astfel din tabloul fizic al lumii noţiunea de timp unic, care cuprinde tot Universul. Aici Einstein a abordat problemele cele mai profunde ale ştiinţei: problema spaţiului, a timpului şi a legăturii dintre ele.

Dacă nu există eter cosmic, nu putem atribui unui corp imobilitate şi, pe această bază, nu putem să-l considerăm originea unui sistem de coordonate fix în sens absolut, privilegiat. În acest caz, nu avem voie să vorbim despre simultaneitatea absolută a unor evenimente, nu avem voie să susţinem că două evenimente simultane într-un sistem de coordonate vor fi simultane şi în orice alt sistem de coordonate.

Să revenim la nava cu ecranele la pupă şi la proră şi la cheiul pe care sînt de asemenea montate ecrane.

Cînd lumina felinarului a atins simultan ecranele, putem spune că iluminarea ecranului de la pupă şi a celuia de la proră sînt evenimente simultane. În sistemul de coordonate legat de navă, aceste evenimente sînt efectiv simultane. Nu ne-am oprit însă la această constatare şi am considerat posibil să vorbim despre simultaneitate în sens absolut. Faptul că la mişcarea navei ecranele nu sînt iluminate simultan nu ne-a tulburat, am ţinut seama de întîrzierea luminii care ajunge din urmă nava, adică a celei care merge de la felinar spre ecranul de la proră. Am putut folosi totdeauna un sistem de referinţă absolut imobil legat de eter, convingîndu-ne că în acest sistem de referinţă „imobil", „adevărat", „absolut", „privilegiat", lumina se propagă în toate părţile cu o viteză constantă, precum şi că în alte sisteme care se mişcă, ea îşi modifică viteza. Înainte de apariţia teoriei lui Einstein, cuvintele „imobil", „privilegiat", „absolut" în legătură cu un sistem de referinţă nu erau puse între ghilimele: era încetăţenită convingerea unanimă în existenţa unui criteriu interior al mişcării, anume deosebirea dintre desfăşurarea proceselor optice în corpuri fixe (în sens absolut, în raport cu eterul cosmic imobil), şi în corpurile în mişcare (de asemenea în mod absolut). Sincronizarea ceasornicelor părea posibilă chiar în cazul în care era vorba despre ceasornice aşezate în două sisteme ce se mişcă unul în raport cu celălalt.

Cînd nava se mişcă în lungul cheiului, lumina ajunge la ecranele de pe navă la momente diferite ale timpului; dar noi considerăm aceste momente ca fiind diferite, pentru că vedem ecranele pe chei şi identificăm clipele cînd lumina cade pe aceste ecrane imobile, atribuind un caracter absolut simultaneităţii înregistrate într-un sistem de referinţă fix. Acum, a trebuit să se renunţe la toate acestea din punctul de vedere al teoriei relativităţii; dacă ne aflăm pe navă şi nu vedem cheiul, nu putem găsi o dovadă pentru nesimultaneitatea iluminării ecranelor de la pupă şi de la proră. Noi considerăm aceste momente nesimultane, pentru că în timpul propagării luminii de la felinar la ecrane, nava s-a deplasat în raport cu cheiul, pe care l-am socotit imobil în sens absolut. Verificînd ceasornicul cu ajutorul ecranelor de pe chei, adică socotind simultane momentele cînd lumina

a ajuns la aceste ecrane imobile, trebuie, bineînțeles, să distingem momentele cînd lumina ajunge pînă la ecranele de pe nava în mișcare. Dar, dacă mișcarea navei și imobilitatea cheiului nu au un caracter absolut, cu tot atîta justificare putem considera nava drept corp de referință fix. Atunci cheiul se mișcă, iar lumina ajunge la ecranele de pe chei în momente diferite. Controversa: care dintre sistemele de referință este fix în sens absolut și în care sistem evenimentele sînt simultane în sens absolut, este lipsită de obiect, dacă nu există un corp de referință în repaus absolut — eterul cosmic. Evenimente simultane într-un sistem de referință sînt nesimultane pentru alt sistem.

Dacă nu există simultaneitate absolută, nu există nici timp absolut care se scurge uniform în toate sistemele ce se deplasează unul în raport cu altul. Timpul depinde de mișcare.

Care este această dependență și cum variază mersul timpului cînd trecem de la un sistem de referință la altul? Lorentz, încă înainte de apariția lucrării lui Einstein, a susținut că, în cazul contracției dimensiunilor longitudinale, în sistemele în mișcare mersul ceasornicelor se va încetini. Contracția lungimilor și încetinirea mersului ceasornicelor vor compensa exact variația vitezei luminii în sistemele în mișcare. De aceea, încetinirea mersului ceasornicelor poate fi calculată, ca și contracția lungimilor, din condiția de constanță a vitezei luminii.

La Einstein, contracția dimensiunilor spațiale longitudinale și încetinirea timpului în sistemele în mișcare au un sens cu totul diferit față de cel dat de Lorentz. Timpul nu se încetinește în comparație cu timpul „absolut", „adevărat" care curge în sisteme imobile în raport cu eterul, adică în sisteme absolut fixe. Lungimea unei bare care se mișcă longitudinal se micșorează, nu în comparație cu o anumită lungime „adevărată" și „absolută" în repaus în eter. Din punctul de vedere al lui Einstein, contracția lungimilor (ca și încetinirea timpului) este *reciprocă*. Dacă sistemul K' se mișcă în raport cu sistemul K, putem spune cu același drept că sistemul K se mișcă in raport cu K'. Lungimea barei, măsurată în sistemul K, în raport cu care ea este în repaus, va fi mai mică decît dacă o vom măsura în sistemul K'. La

rîndul său însă, o bară în repaus în sistemul K' va fi mai scurtă dacă o măsurăm în sistemul K. Este vorba despre o variaţie pe deplin reală a lungimii, însă noţiunea „variaţie reală" nu înseamnă că ar exista o lungime „privilegiată" absolută, invariabilă. Cauza contracţiei lorentziene este procesul real de mişcare a sistemelor unul faţă de altul, proces în care ambele sisteme joacă un rol perfect echivalent. Ideea lorentziană despre contracţia reală a lungimii barei, în comparaţie cu lungimea ei invariabilă, „adevărată", cînd bara este în repaus în sens absolut, este o reprezentare mai „clasică", dar nicidecum mai naturală decît reprezentarea lui Einstein despre contracţia *relativă* a dimensiunilor în sisteme care se mişcă unul în raport cu altul. Deplasarea corpurilor unul faţă de altul, variaţia distanţei dintre ele, este mai uşor reprezentabilă decît mişcarea absolută raportată la spaţiul vid sau la eterul omogen.

Ideile formulate de Einstein în 1905 au interesat cercuri foarte largi, începînd chiar din anii imediat următori. Oamenii îşi dădeau seama că o teorie care atacă atît de îndrăzneţ reprezentările tradiţionale despre spaţiu şi timp nu poate să nu aducă o dată cu dezvoltarea şi cu aplicarea ei progrese foarte profunde în domeniul ştiinţei, al producţiei şi al tehnicii, al culturii. Bineînţeles, abia acum a devenit limpede calea ce duce de la consideraţiile abstracte despre spaţiu şi timp la ideea colosalelor rezerve de energie ascunse în interiorul substanţei şi care aşteaptă să fie eliberate pentru a schimba aspectul tehnicii de producţie şi al civilizaţiei. Vom încerca să conturăm în cîteva trăsături această cale, deşi două-trei fraze nu pot da o idee despre lanţul de construcţii matematice complicate şi profunde, despre reconsiderarea multiplă a concepţiilor fizicii clasice, care păreau cele mai evidente şi mai bine stabilite.

Einstein a dedus din constanţa vitezei luminii în corpurile în mişcare imposibilitatea depăşirii vitezei luminii de către aceste corpuri. Prin aceasta se elimină din tabloul lumii acţiunile instantanee, cu viteză infinită, exercitate de un obiect fizic asupra altuia. De asemenea, se elimină acţiunile care se propagă cu o viteză finită, superioară vitezei luminii. Două evenimente pot fi legate între ele printr-o conexiune cauzală; un eveniment poate fi cauza celuilalt, dacă timpul scurs între aceste eveni-

mente nu este mai mic decît timpul necesar luminii pentru a parcurge distanța dintre punctele unde s-au produs evenimentele. O astfel de reprezentare despre conexiunea cauzală a evenimentelor poate fi denumită relativistă, spre deosebire de reprezentarea clasică, în care se admite că un eveniment dintr-un punct poate influența un eveniment dintr-un alt punct, oricît de mic ar fi intervalul de timp dintre evenimente.

Comparînd cauzalitatea relativistă cu cea clasică, putem vedea o legătură esențială, pentru istoria generală a științei, dintre tabloul mecanic al lumii și generalizarea lui relativistă. Conexiunea cauzală dintre două evenimente aflate în punctele distincte a_1 și a_2 constă în aceea că evenimentul (fenomenul) din punctul a_1 determină emiterea unui anumit semnal care, ajungînd în punctul a_2, provoacă aici al doilea fenomen. Primul fenomen poate fi, de exemplu, o împușcătură, iar al doilea — nimerirea proiectilului în țintă. Conexiunea cauzală constă în mișcarea proiectilului, care joacă în acest exemplu rolul de semnal. Viteza infinită a semnalului ar însemna că, respectiv, cauza (emiterea semnalului din a_1, care transmite acțiunea) și efectul (sosirea semnalului în a_2) apar simultan. Așadar, conexiunea cauzală poate fi reprezentată sub aspect pur spațial. Pentru a-i da noțiunii de conexiune cauzală o formă spațio-temporală trebuia găsită o limită a vitezelor, și aceasta a fost găsită în viteza constantă a propagării cîmpului electromagnetic.

Generalizarea despre care este vorba e legată de o nouă interpretare a condițiilor de identitate a obiectelor în mișcare. Poate fi identic cu sine un obiect a cărui mișcare este supusă condiției: distanța dintre punctele a_1 și a_2 unde se află corpul în momentele t_1 și t_2 nu trebuie să fie mai mare decît viteza luminii, înmulțită cu $t_2 - t_1$. Dacă această condiție nu este satisfăcută, nu avem de-a face cu un obiect în mișcare identic cu sine, ci cu obiecte diferite, neidentice.

Să trecem acum la concluziile dinamice care rezultă din existența unei limite a vitezelor mecanice.

Dacă un corp se mișcă cu o viteză apropiată de viteza luminii și începe să acționeze asupra lui o nouă forță, atunci accelerația nu poate fi de așa natură încît corpul să capete o viteză superioară vitezei luminii. Cu

cît sîntem mai aproape de viteza luminii, cu atît este mai mare rezistența corpului față de forță, cu atît este mai mică accelerația pe care o determină aceeași forță aplicată corpului. Rezistența la accelerație a corpului, adică masa corpului, crește o dată cu viteza și tinde către infinit, cînd viteza corpului se apropie de viteza luminii. Așadar, masa corpului depinde de viteza cu care se mișcă, ea crește cînd crește viteza și este proporțională cu energia mișcării. Cît privește masa corpului în repaus, ea este legată printr-o relație anumită de energia *internă*, adică de energia corpului în repaus. Această energie este egală cu masa de repaus, înmulțită cu pătratul vitezei luminii. Dacă energia mișcării corpului se transformă în energia internă a acestuia (să zicem energie termică sau energie a unor legături chimice), atunci masa corpului crește corespunzător cu creșterea energiei.

Dar masa de repaus nu este de loc egală cu suma energiei termice, chimice și electrice pe care o cuprinde corpul, împărțită prin pătratul vitezei luminii. Acestei sume îi corespunde o parte foarte mică din întreaga energie de repaus. Trecerea energiei cinetice a două corpuri în energie de repaus, de exemplu la o ciocnire neelastică a acestor corpuri, mărește energia de repaus cu o valoare infimă față de întreaga energie de repaus. La rîndul ei, trecerea căldurii în energie de mișcare a corpurilor mărește energia de repaus (și masa de repaus) cu o fracțiune infimă. Un corp a cărui temperatură este de zero absolut și a cărui energie electrică și chimică este de asemenea nulă ar avea o energie de repaus și o masă de repaus care ar fi numai într-o măsură infimă mai mici decît la un corp aflat la temperatura obișnuită și avînd rezerve obișnuite de energie chimică și energie electrică.

Pînă la jumătatea secolului nostru, se foloseau în toate domeniile tehnicii exclusiv variații infime de acest fel ale energiei de repaus și ale masei de repaus ale corpurilor. Acum au apărut reacții practic utilizabile în care se cheltuiește sau se completează masivul de bază al energiei de repaus cuprinse în substanță. E drept că folosim în practică doar miimi din această rezervă de energie, însă înainte, în cadrul transformării căldurii în

lucru mecanic și în celelalte reacții „clasice", se utilizau abia milionimi din energia de repaus.

În fizica actuală există reprezentarea transformării totale a energiei de repaus în energie de mișcare, adică reprezentarea transformării unei particule cu masă de repaus într-o particulă cu masă de repaus nulă, însă avînd o energie a mișcării și o masă de mișcare foarte mari. Astfel de transformări se observă în natură. Dar sîntem încă departe de utilizarea practică a unor astfel de procese. În prezent se folosesc procese care eliberează energia internă a nucleelor atomice. Energetica atomică s-a dovedit a fi dovada experimentală și practică decisivă a teoriei relativității a lui Einstein.

Bineînțeles, în 1905, cînd a fost publicat primul articol al lui Einstein despre teoria relativității, nimeni nu putea prevedea căile concrete ale revoluției științifico-tehnice menite să traducă în viață noua doctrină despre spațiu, timp și mișcare. Teoria relativității apărea pe atunci ca o generalizare și interpretare uimitor de profundă, armonioasă și cutezătoare a unor date experimentale dinainte cunoscute, în primul rînd a unor fapte care atestă constanța vitezei luminii, independența ei de mișcarea rectilinie și uniformă a sistemului prin care trece raza de lumină. Totodată, savanții își dădeau seama că respingînd noțiunea clasică, în aparență evidentă a simultaneității, că renunțînd la regula clasică tot atît de evidentă a compunerii vitezelor, că admițînd și discutînd concluzii la prima vedere paradoxale, fizica dobîndește un instrument foarte eficace.

Părăsind adăpostul mecanicii newtoniene, aruncînd o sfidare „evidenței", nemaimărginindu-și căile la traseele tradiționale, știința poate descoperi noi ținuturi. Ce roade cresc pe aceste ținuturi, ce va dobîndi practica de pe urma noilor sinteze teoretice nu se știa încă pe atunci. Exista doar, cum am mai spus, convingerea instinctivă că îndrăzneala și amploarea noilor idei trebuie să corespundă unor progrese fundamentale ale tehnicii și ale civilizației.

Oricum ar fi, faptul era consumat. În știință fuseseră lansate idei care aveau să revoluționeze teoria Cosmosului și a microcosmosului, teoria mișcării și a energiei, reprezentarea despre spațiu și despre timp și să devină

ulterior baza energeticii atomice. Aceste idei au început să-şi trăiască propria lor viaţă.

În 1907—1908, Hermann Minkowski (1864—1908) a dat teoriei relativităţii o formă geometrică extrem de armonioasă şi importantă pentru generalizările ulterioare. În articolul lui Minkowski *Principiul relativităţii* (1907) şi în comunicarea *Spaţiul şi timpul* (1908), teoria lui Einstein era enunţată sub forma unei teorii despre invarianţii geometriei euclidiene cvadridimensionale. Nu avem acum nici posibilitatea, nici nevoia de a da o definiţie riguroasă a invariantului şi de a adăuga ceva nou la cele spuse la începutul capitolului. Noţiunea de spaţiu cu mai multe dimensiuni, pe care am mai întîlnit-o în capitolele precedente, nu necesită nici ea o definiţie riguroasă.

Am arătat înainte că poziţia unui punct din plan poate fi definită prin două numere care măsoară lungimile perpendicularelor coborîte pe axele unui sistem de coordonate. Dacă vom trece la un alt sistem de referinţă, coordonatele fiecărui punct se vor schimba, însă distanţa dintre puncte va rămîne aceeaşi în cadrul acestei transformări de coordonate. Invarianţa distanţelor în cazul transformărilor de coordonate poate fi arătată nu numai în geometria plană, ci şi în geometria tridimensională. În cazul mişcării unei figuri geometrice în spaţiu, coordonatele punctelor variază, pe cînd distanţele dintre ele rămîn constante. După cum am mai spus, existenţa invarianţilor faţă de transformările de coordonate poate fi denumită echivalenţa sistemelor de referinţă, echivalenţa punctelor care pot deveni fiecare originea unui sistem de coordonate, trecerea de la un sistem la altul neinfluenţînd distanţele dintre puncte. Am mai spus, de asemenea, că această echivalenţă a punctelor spaţiului se numeşte omogenitatea spaţiului. În conservarea formei corpurilor şi în respectarea legilor invariabile ale interacţiunii lor în cadrul transformărilor, îşi găseşte expresia omogenitatea spaţiului. La viteze foarte mari însă, apropiate de viteza luminii, devine esenţială dependenţa distanţei dintre puncte de mişcarea sistemului de referinţă. Dacă un sistem de referinţă se mişcă faţă de altul, atunci lungimea unei bare în repaus într-un sistem va fi mai mică, dacă o măsurăm în celălalt sistem. În teoria lui Einstein, distanţele spaţiale (ca şi in-

tervalele de timp) variază cînd trecem de la un sistem de referinţă la altul, care se mişcă în raport cu primul. În condiţiile unei astfel de treceri, rămîne invariabilă o altă mărime, de care ne vom ocupa acum.

Minkowski a enunţat după cum urmează constanţa vitezei luminii.

În cazul unei transformări de coordonate, rămîne invariabilă distanţa dintre două puncte, de exemplu drumul parcurs de o particulă mobilă. Pentru a calcula această distanţă — drumul străbătut de particulă — trebuie să luăm pătratele creşterilor celor trei coordonate, adică pătratele diferenţelor dintre valorile noi şi vechi ale coordonatelor. Conform relaţiilor geometriei euclidiene, suma acestor trei pătrate va fi egală cu pătratul distanţei dintre puncte. Vom adăuga acum la cele trei creşteri ale coordonatelor spaţiale, creşterea timpului, adică timpul care s-a scurs de la momentul cînd particula a ajuns în primul punct, pînă în momentul cînd ea a ajuns în al doilea. Această a patra mărime este luată şi ea la pătrat. Nimic nu ne împiedică să denumim suma celor patru pătrate — pătrat al „distanţei", de astă dată cvadridimensională, nu tridimensională. Aici nu este vorba despre o distanţă între puncte ale spaţiului, ci despre intervalul dintre sosirea particulei la un moment dat la un anumit punct şi sosirea ei la un alt moment, într-un alt punct. Punctul se deplasează atît în spaţiu, cît şi în timp. Din constanţa vitezei luminii, rezultă, cum a arătat Minkowski, că în condiţii determinate (timpul trebuie măsurat în unităţi speciale), intervalul spaţio-temporal cvadridimensional va fi invariabil, indiferent de sistemul de referinţă în care am măsura poziţia punctelor şi momentul sosirii particulelor în aceste puncte.

În sine, reprezentarea cvadridimensională a mişcării unei particule poate fi uşor însuşită, ea pare aproape evidentă şi, în fond, uzuală. Este unanim cunoscut că evenimentele reale sînt definite prin patru numere: trei coordonate spaţiale şi timpul, care a trecut de la începutul cronologiei pînă la evenimentul considerat, sau de la începutul anului, sau de la începutul zilei. Să marcăm pe o foaie de hîrtie, pe o dreaptă orizontală, locul unui anumit eveniment, distanţa acestui loc de la punctul iniţial, de exemplu distanţa de la punctul pe care l-a atins un tren pînă la staţia de plecare. Pe axa verticală

vom trece timpul în care trenul a ajuns la acest punct, măsurîndu-l de la începutul zilei sau din momentul plecării din stația inițială. Atunci vom căpăta graficul mișcării trenului. Putem trasa mișcarea trenului în spațiul tridimensional, pe o hartă geografică situată pe masă, indicînd timpul prin verticale față de această hartă. Atunci nu va fi suficient un desen, ci vom avea nevoie de un model tridimensional, să zicem de o sîrmă fixată deasupra hărții. Ea va fi graficul tridimensional al mișcării: înălțimea sîrmei în fiecare punct deasupra hărții orizontale va reprezenta timpul, iar pe hartă proiecțiile sîrmei vor reprezenta mișcarea trenului în regiunea respectivă.

Să reprezentăm acum nu numai deplasările în plan ale trenului, ci și urcușurile și coborîșurile lui, adică mișcarea sa în spațiul tridimensional. În acest caz, verticalele nu mai pot reprezenta timpul, ele vor marca înălțimea trenului deasupra nivelului mării. Unde să marcăm timpul, a patra dimensiune? Un grafic cvadridimensional nu poate fi construit și nici măcar imaginat. Însă matematica știe de mult să găsească mărimi geometrice de acest fel, recurgînd la metoda analitică, adică efectuînd calcule. În formule și în calcule pot fi introduse, paralel cu cele trei dimensiuni spațiale, și a patra, timpul, iar dacă renunțăm la intuitivitate, putem crea astfel o geometrie cvadridimensională.

Dacă ar exista o transmitere instantanee a impulsurilor, și în general a semnalelor, am putea vorbi despre două evenimente produse simultan, adică diferind între ele numai prin coordonatele spațiale. Legătura dintre evenimente ar fi prototipul fizic al unor relații geometrice tridimensionale pur spațiale. Dar, după cum am mai spus, în 1905 Einstein a renunțat la noțiunile de simultaneitate absolută și de timp absolut, independent de mișcare. Teoria lui Einstein pleacă de la mărginirea și relativitatea reprezentării tridimensionale, pur spațiale a lumii și introduce reprezentarea spațio-temporală mai precisă. Din punctul de vedere al teoriei relativității, trebuie să figureze în tabloul lumii patru coordonate și acestuia trebuie să-i corespundă o geometrie cvadridimensională.

În 1908, Minkowski a formulat teoria relativității ca pe o geometrie cvadridimensională. El a denumit „eve-

niment" un punct definit de patru coordonate, deoarece prin eveniment trebuie să înţelegem în cadrul mecanicii ceva definit în spaţiu şi în timp: sosirea particulei într-un anumit punct spaţial la un moment determinat. Mai departe, el a denumit „univers" ansamblul evenimentelor — varietatea spaţio-temporală, — deoarece lumea reală se desfăşoară în spaţiu şi în timp. Curba care reprezintă mişcarea unei particule, adică linia cvadridimensională avînd fiecare punct definit prin patru coordonate, a fost denumită de Minkowski „linie de univers".

Lungimea unui segment de „linie de univers" este invariantă cînd trecem de la un sistem de referinţă la altul, care se mişcă uniform şi rectiliniu faţă de primul. În aceasta constă propoziţia fundamentală a teoriei relativităţii, din care se pot obţine toate relaţiile lui Einstein.

Trebuie relevat că relaţiile geometrice cu ajutorul cărora Minkowski a expus teoria relativităţii se supun geometriei euclidiene. Putem obţine relaţiile teoriei relativităţii, presupunînd că „distanţa" cvadridimensională este exprimată în acelaşi mod, prin patru diferenţe — cele trei diferenţe ale coordonatelor spaţiale şi timpul scurs între evenimente, — după cum şi distanţa tridimensională este exprimată în geometria euclidiană prin diferenţele dintre coordonatele spaţiale. În acest scop, cum am mai spus, trebuie numai să exprimăm timpul în unităţi speciale. Lungimea unui segment de linie de univers se defineşte potrivit regulilor geometriei euclidiene, însă cu patru, nu cu trei dimensiuni. Pătratul ei este egal cu suma celor patru pătrate ale creşterilor coordonatelor spaţiale şi a creşterii timpului. Cu alte cuvinte [segmentul de linie de univers] este suma geometrică a creşterilor celor patru coordonate, dintre care trei sînt spaţiale, iar a patra este timpul, măsurat în unităţi speciale. Putem califica teoria relativităţii drept teorie a invarianţilor geometriei euclidiene cvadridimensionale. Dat fiind că timpul este măsurat în unităţi speciale, vorbim despre o geometrie cvadridimensională *pseudoeuclidiană.*

Suma pătratelor celor patru creşteri — pătratul distanţelor cvadridimensionale dintre evenimente, pătratul lungimii unui segment de linie de univers — nu se schimbă cînd trecem de la sistemul K la sistemul K' care

se mişcă în raport cu el. „Distanţa" cvadridimensională este un invariant al transformărilor geometriei cvadridimensionale, ce corespund trecerii de la un sistem de referinţă K la un altul K', care se mişcă uniform şi rectiliniu în raport cu primul. Această invarianţă rezultă din constanţa vitezei luminii, cînd trecem de la K la K'.

În această invarianţă îşi găseşte expresia omogenitatea universului cvadridimensional. Am arătat mai sus că invarianţa lungimii unui segment tridimensional în cazul translaţiei originii coordonatelor exprimă omogenitatea spaţiului tridimensional. Acum putem considera invarianţa unui segment cvadridimensional de linie de univers ca expresie a omogenităţii şi a izotropiei spaţiului-timp cvadridimensional.

Omogenitatea spaţiului îşi găseşte expresia în conservarea impulsului, iar omogenitatea timpului — în conservarea energiei. Este de aşteptat ca în formularea sa cvadridimensională, principiul conservării impulsului şi principiul conservării energiei să se contopească într-un principiu unic al conservării energiei şi impulsului. Efectiv, în teoria relativităţii figurează un astfel de principiu de conservare unificat.

Omogenitatea spaţiului-timp înseamnă că în natură nu există puncte de univers spaţio-temporale preferenţiale. Nu există evenimente care să fie originea absolută a unui sistem de referinţă spaţio-temporal cvadridimensional. În lumina ideilor expuse de Einstein în 1905, distanţa cvadridimensională dintre punctele de univers, adică intervalul spaţio-temporal nu va varia dacă vom transplanta împreună aceste puncte în lungul unei linii de univers. Aceasta înseamnă că legătura spaţio-temporală dintre două evenimente nu depinde de punctul de univers ales ca origine şi că orice punct de univers poate juca rolul acestei origini.

Omogenitatea spaţiului a devenit o idee fundamentală a ştiinţei după ce Galilei şi Descartes, care au enunţat principiul inerţiei şi principiul conservării impulsului, au arătat că în spaţiul cosmic nu există un punct preferenţial care să fie originea unui sistem de referinţă privilegiat, că distanţele dintre corpuri şi interacţiunile lor nu depind de mişcarea sistemului material format din aceste corpuri. Omogenitatea timpului a devenit ideea fundamentală a ştiinţei după ce fizica secolului al XIX-

lea, care a enunțat principiul conservării energiei, a arătat independența proceselor naturale de deplasarea lor în timp și lipsa unui punct inițial absolut pentru măsurarea timpului. Acum ideea fundamentală a științei devine omogenitatea spațiului-timp.

Așadar, ideea omogenității este o idee-pivot în știința secolelor al XVII-lea — al XX-lea. Ea este generalizată treptat, extinsă de la spațiu la timp, iar apoi la spațiul-timp. La sfîrșitul acestei cărți vom vedea că evoluția ideii de omogenitate nu se termină aici.

Spre deosebire de omogenitatea spațiului și a timpului, luate separat, pe care a cunoscut-o fizica clasică, omogenitatea spațiului-timp ar fi încălcată dacă într-o anumită regiune s-ar produce transmiterea instantanee a unui semnal. Ca exemplu ar putea servi o particulă perfect rigidă, ce umple total volumul ocupat de ea în spațiu și care nu este capabilă să se deformeze. Prin spațiul ocupat de o astfel de particulă, un impuls s-ar transmite instantaneu și ne-am lovi, astfel, de echivalentul fizic al geometriei tridimensionale, cu un spațiu care există independent de timp.

În anii 1911—1916, Einstein a reușit să generalizeze teoria relativității.

Teoria creată în 1905 se numește teoria restrînsă sau specială a relativității, deoarece ea este valabilă numai pentru cazul special al mișcării uniforme și rectilinii. Propagarea luminii, ca și, în genere, toate procesele mecanice și electrodinamice se desfășoară invariabil dacă trecem de la un sistem în repaus K la un sistem K' ce se mișcă uniform și rectiliniu față de K. De aceea, fără a depăși cadrul sistemului în mișcare, nu-i putem înregistra mișcarea rectilinie și uniformă nici prin experimente mecanice, nici prin experimente optice (electrodinamice). Într-un sistem care se mișcă uniform și rectiliniu, mișcarea nu determină efecte interne. Într-un tren ce se mișcă fără accelerație, nu se petrece nimic care să-i pună în evidență mișcarea pentru călători. Această mișcare are un sens relativ, trenul se mișcă în raport cu pămîntul și cu obiectele fixe de pe pămînt. Cu tot atîta drept putem spune că pămîntul se mișcă în raport cu trenul; nu putem găsi un fenomen în tren care să arate că aceste două aserțiuni nu ar fi echivalente. Alta este situația mișcării accelerate. În legătură cu no-

țiunea newtoniană de mișcare absolută, am mai spus că un călător se convinge de accelerația trenului, simțind impulsul determinat de forța de inerție și îndreptat înapoi, atunci cînd trenul își sporește viteza, și înainte, atunci cînd mecanicul pune în funcțiune pompa și trenul pierde din viteză. Așadar, mișcarea accelerată creează efecte interne în sistemul mobil.

În acest caz, nu mai avem voie să vorbim despre echivalența sistemelor în mișcare. Dacă raportăm mișcarea trenului la pămînt, adică socotim pămîntul fix, atunci accelerația trenului produce un impuls; dacă vom considera însă trenul fix și vom presupune că suprafața pămîntului se mișcă accelerat în raport cu trenul, atunci călătorul din tren nu va simți impulsul. Așadar, propoziția „trenul se mișcă în raport cu pămîntul" și propoziția „pămîntul se mișcă în raport cu trenul" au un sens fizic diferit, în cazul mișcării accelerate: ele descriu și situații diferite, însoțite de efecte diferite. De aceea, principiul relativității este aplicabil numai mișcării uniforme și rectilinii, mișcării în virtutea inerției. Mișcarea accelerată nu se supune acestui principiu, drept care teoria relativității, propusă de Einstein în 1905, se numește teoria specială (restrînsă) a relativității.

Mulți ani a fost preocupat Einstein de subordonarea mișcării accelerate față de principiul relativității și de crearea unei teorii a relativității generalizate, care să considere nu numai mișcările inerțiale, ci orice mișcări posibile. Oare impulsul, determinat la accelerarea sau la încetinirea unui tren, cu alte cuvinte — forța de inerție care acționează asupra călătorului poate fi un criteriu absolut al mișcării? Nu poate oare să apară într-un tren imobil o forță care să nu poată fi deosebită de forța inerției?

Forța inerției acționează uniform asupra tuturor lucrurilor aflate în tren. Cînd locomotiva îi comunică trenului o accelerație bruscă, toate lucrurile aflate în el se vor mișca cu o aceeași accelerație, în sens contrar mișcării trenului, determinată de forța de inerție. Există o forță care acționează și ea uniform asupra tuturor corpurilor. Ne-am ocupat de ea în capitolul VIII. Este forța de gravitație.

Dacă drumul are urcușuri pronunțate, nu vom putea stabili ce anume i-a împins înapoi pe călători și lucru-

rile lor: forța de gravitație, care acționează asupra trenului în mișcare uniformă pe linia ferată și care a început în acest moment să urce panta, sau forța de inerție, care acționează asupra trenului, acesta suferind în momentul dat o accelerație pe un drum plan. Ambele acționează uniform, deoarece masa inertă a unui corp este proporțională cu greutatea sa.

Einstein nu a vorbit despre un tren, ci despre cabina unui ascensor. Să ne închipuim cabina urcînd accelerat, fără ca forța de gravitație să acționeze în acest timp asupra cabinei.

Forța de inerție va împinge oamenii în sens contrar accelerației cabinei, adică în jos, și va presa tălpile oamenilor de podeaua cabinei. Forța de inerție va împinge spre podea greutățile suspendate de tavanul cabinei și va încorda firele de care sînt suspendate aceste greutăți. Dar constituie oare aceasta o dovadă pentru mișcarea accelerată a cabinei? Nu; în cabina imobilă, supusă acțiunii atracției terestre, forța de gravitație produce aceleași efecte.

Einstein a denumit principiu de echivalență propoziția care afirmă echivalența forței de gravitație acționînd asupra unui sistem și a forței de inerție ce se manifestă la o mișcare accelerată. Acest principiu permite să considerăm mișcarea accelerată ca fiind relativă. În adevăr, manifestările mișcării accelerate (ale forței de inerție) nu se deosebesc prin nimic de forțele de gravitație într-un sistem imobil. Așadar, nu există criteriu interior al mișcării; ne putem face o idee despre mișcare numai în raport cu corpuri exterioare. Mișcarea unui corp A, inclusiv mișcarea sa accelerată, constă din variația distanțelor la un anumit corp de referință B, noi putînd spune cu tot atîta drept că B se mișcă în raport cu A.

Dar, pentru ca principiul de echivalență să ne permită să considerăm mișcarea accelerată ca fiind relativă, este necesară o premisă fizică extrem de importantă. Să presupunem că o rază luminoasă parcurge cabina ascensorului. Cînd cabina urcă, lumina, care intră în cabină printr-o fereastră laterală, atinge peretele opus ceva mai jos: în timpul cît lumina străbate cabina, aceasta a urcat. Cînd cabina este fixă și situată în cîmp gravitațional, un astfel de efect va avea loc dacă gravita-

ţia acţionează şi asupra luminii, adică dacă lumina are masă grea.

Această concluzie a constituit un moment foarte important în dezvoltarea teoriei relativităţii. Calculele matematice şi figurile convenţionale au dus la o concluzie care poate fi verificată experimental. Vom aminti curînd „cîntărirea luminii", adică observarea deflecţiei unei raze luminoase, care trece în apropierea Soarelui. Cu mult înaintea acestei verificări, Einstein a trebuit să rezolve o altă problemă teoretică.

Gravitaţia şi acceleraţia care acţionează asupra unui sistem determină acelaşi efect numai atunci cînd forţele de gravitaţie antrenează corpurile în acelaşi sens, după drepte paralele. Dar numai în regiuni foarte mici putem considera că direcţiile forţei de gravitaţie sînt paralele. În regiuni mari, forţele de gravitaţie acţionează după direcţii diferite, ceea ce determină o deosebire esenţială între efectul gravitaţiei şi efectul accelerării sistemului. Să revenim la cabina ascensorului. În cazul în care aceasta urcă accelerat, firele întinse de greutăţile suspendate vor fi paralele. Greutatea însă le va întinde după direcţii care, riguros vorbind, nu sînt paralele, ci se intersectează în centrul pămîntului. În cabina ascensorului, această diferenţă este neglijabilă. Dacă însă cabina liftului ar avea un diametru de cîteva sute de kilometri, diferenţa ar deveni sensibilă. Astfel, ar dispărea echivalenţa dintre gravitaţie şi acceleraţie şi am obţine un criteriu absolut al mişcării accelerate, sub forma întinderii paralele a firelor.

Cum poate fi extins principiul relativităţii la mişcările accelerate în regiuni mari? Căutînd răspunsul la această întrebare, Einstein a ajuns la o idee care se deosebeşte net, prin caracterul ei, de ideile clasice. Ea se deosebeşte de ele nu numai prin conţinut, prin semnificaţia ei fizică, prin reprezentarea asupra lumii, care stă la baza ei. Teoria generalizată a relativităţii a deschis o nouă eră în istoria ştiinţei şi pentru că a schimbat relaţia dintre construcţiile geometrice şi cele propriu-zis fizice. În trecut, înainte de teoria lui Einstein, aceste construcţii nu se contopeau într-o teorie unitară. Prin geometrie se subînţelegea cîndva un ansamblu de teoreme absolut incontestabile şi imuabile, date o dată pentru totdeauna şi deduse din axiomele şi din postulatele

enunțate în antichitate de către Euclid. După Lobacevski și Riemann, matematicienii au aflat despre posibilitatea unor alte geometrii, neeuclidiene, care admit inegalitatea sumei unghiurilor unui triunghi cu două unghiuri drepte, intersecția perpendicularelor coborîte din două puncte pe aceeași dreaptă, divergența perpendicularelor ridicate din același punct al unei drepte și alte relații care contrazic geometria lui Euclid. După cum știm, încă Lobacevski a presupus că procesele fizice din spațiu pot conferi acestuia proprietăți geometrice neeuclidiene.

Einstein a identificat gravitația, care curbează liniile de univers ale corpurilor în mișcare, cu curbura spațiului-timp. Această idee va fi totdeauna un model de îndrăzneală și profunzime a gîndirii fizice, precum și, totodată, un model pentru noul caracter al gîndirii științifice, care găsește echivalenți fizici reali pentru relațiile geometrice euclidiene și neeuclidiene.

În spațiul tridimensional, un corp asupra căruia nu acționează forțe se mișcă după o dreaptă. El se mișcă după o dreaptă și în universul spațio-temporal cvadridimensional, deoarece pe graficul „spațiu-timp" fiecare mișcare pe axa timpului (fiecare creștere a timpului) este însoțită de aceeași creștere a distanței spațiale parcurse. Așadar, mișcărilor în virtutea inerției le corespund linii de univers drepte, adică drepte ale spațiului-timp cvadridimensional. Mișcărilor accelerate le corespund linii de univers curbe în universul spațio-temporal cvadridimensional.

Gravitația imprimă tuturor corpurilor aceeași accelerație. Mai mult, ea imprimă aceeași accelerație și luminii. Prin urmare, gravitația curbează în același mod toate liniile de univers. Dacă toate dreptele trasate în plan s-ar dovedi deodată curbe, căpătînd aceeași curbură, am presupune că planul s-a curbat, că a devenit o suprafață cu curbură, să zicem o suprafață sferică. Poate că gravitația care curbează în același mod toate liniile de univers, arată că într-un punct de univers dat (într-un punct spațial dat și la un moment dat al timpului), spațiul-timp a căpătat o curbură determinată. Variația forțelor de gravitație, variația intensității și a direcției gravitației, poate fi considerată atunci ca o variație a curburii spațiului-timp.

Curbura unei linii nu necesită explicații. Curbura unei suprafețe este de asemenea o idee pe deplin intuitivă. Știm că pe o suprafață curbă, de exemplu pe suprafața globului terestru, teoremele geometriei plane euclidiene își pierd valabilitatea. Liniile cele mai scurte nu vor mai fi dreptele, ci liniile geodezice, de exemplu, în cazul unei suprafețe sferice, aceste linii vor fi arcele de cerc mare: pentru a ne deplasa pe drumul cel mai scurt de la nord spre sud trebuie să urmăm un arc de meridian. Pe o linie geodezică, ce se substituie liniei drepte, putem duce dintr-un punct o mulțime de perpendiculare distincte, de exemplu din pol pe ecuator. Nu ne putem imagina o curbură atît de intuitivă a spațiului tridimensional. Dar putem denumi curbură abaterea universului tridimensional de la geometria euclidiană. Același lucru îl putem face și pentru varietatea cvadridimensională.

Să repetăm propozițiile fundamentale ale teoriei relativității generalizate.

În fiecare punct aflat în cîmpul acțiunii unor forțe de gravitație ale unei mase mari, de exemplu în cazul masei Soarelui, toate corpurile cad cu aceeași accelerație, și nu numai corpurile, ci și lumina capătă o accelerație, și anume aceeași accelerație dependentă de masa Soarelui. În geometria cvadridimensională, o astfel de accelerație poate fi reprezentată sub forma curburii universului spațio-temporal. Potrivit teoriei relativității generalizate, prezența maselor grele determină curbura universului spațio-temporal, iar această curbură își găsește expresia în gravitație, care modifică drumurile și vitezele corpurilor și ale razelor luminoase.

În 1919, observațiile astronomice au confirmat teoria lui Einstein asupra gravitației — teoria relativității generalizate. Razele de lumină venite de la stele se curbează cînd trec în apropierea Soarelui, iar abaterile lor de la linia dreaptă au coincis cu cele calculate teoretic de Einstein.

Curbura spațiului-timp variază în funcție de distribuția maselor grele. Dacă vom porni la drum prin Univers, fără a ne modifica direcția, adică urmînd geodezicele spațiului înconjurător, vom întîlni în drum proeminențe cvadridimensionale, respectiv cîmpurile gravitaționale ale planetelor; munți, cu alte cuvinte cîmpurile gravita-

ţionale ale stelelor; lanţuri muntoase mari, care sînt cîmpurile gravitaţionale ale galaxiilor. Călătorind în acelaşi fel pe suprafaţa Pămîntului, găsim în afară de dealuri şi munţi, curbura suprafeţei terestre în ansamblul ei şi sîntem convinşi că, dacă ne continuăm drumul fără a ne schimba direcţia, să zicem în lungul ecuatorului, vom reveni la locul de unde am plecat.

În cazul unei călătorii prin Univers, ne lovim de asemenea de curbura spaţiului, care este legată de cîmpurile gravitaţionale ale planetelor, ale stelelor şi ale galaxiilor, la fel cum este legată curbura Pămîntului de relieful suprafeţei sale. Dacă nu numai spaţiul ar fi curbat, dar şi timpul, am reveni la sfîrşitul călătoriei cosmice la punctul spaţial iniţial şi la momentul iniţial. Aceasta este imposibil. Einstein a presupus că numai spaţiul are curbură.

În 1922, A. A. Fridman (1888—1925) a emis ipoteza variaţiei razei curburii totale a spaţiului de-a lungul timpului. Anumite observaţii astronomice par să confirme aceste observaţii: distanţele dintre galaxii cresc cu timpul, adică galaxiile se împrăştie. Dar concepţiile cosmologice legate de relativitatea generalizată sînt încă foarte departe de claritatea şi de precizia ce caracterizează teoria restrînsă a relativităţii.

CAPITOLUL XVII

MECANICA CUANTICĂ

Interpretarea fizică a legii periodicității și electrodinamica clasică — cele două drumuri teoretice care au dus spre hotarele tabloului clasic al lumii — au intrat în conflict la începutul secolului al XX-lea. Repetarea periodică a proprietăților chimice în șirul elementelor dispuse după ponderile atomice crescătoare și-a găsit explicația în modelul atomului format dintr-un nucleu și din electroni care se învîrtesc în jurul acestuia. Mișcîndu-se pe o orbită eliptică, electronul este supus unei accelerații. Această mișcare a electronului generează un cîmp magnetic variabil, care determină un cîmp electric variabil. Cu alte cuvinte, în lumina electrodinamicii clasice, modelul planetar al atomului ne face să presupunem că electronul emite unde electromagnetice în timp ce-și parcurge traiectoria eliptică. Undele iau cu sine o parte din energia electronului, iar acesta se mișcă tot mai încet și, neputînd rezista atracției nucleului, cade, în cele din urmă, pe acesta. Această imagine contrazice însă stabilitatea observată a atomilor.

Pentru a ieși dintr-o asemenea dificultate, Niels Bohr a presupus, în 1913, că electronul se poate afla numai pe orbite determinate, avînd valori anumite — discrete ale energiei. Mai departe, Bohr a emis ipoteza că atunci cînd electronul se învîrtește în jurul nucleului pe aceeași orbită, el nu emite unde electromagnetice. Radiația sa are loc atunci cînd electronul saltă de pe o orbită pe alta. În acest caz, energia atomului se micșorează din-

tr-o dată cu o cantitate determinată, egală cu diferența dintre energia pe care o avea electronul pe orbita anterioară și energia pe care o posedă pe orbita cea nouă.

Bohr a luat ca punct de plecare descoperirile lui Max Planck (1858—1947) și ale lui Einstein. În 1900, Planck a introdus în fizică noțiunea de cuante, adică de cantități elementare de energie, absorbite și radiate de corpuri. În 1905, Einstein a arătat că lumina, adică radiația electromagnetică, undele electromagnetice prezintă proprietăți corpusculare, sînt constituite din particule. Aceste particule au căpătat denumirea de cuante de lumină sau fotoni.

Conform teoriei lui Bohr, tranziția electronului de pe o orbită pe alta este însoțită de emisia unui foton, energia fotonului fiind egală cu diferența dintre energia atomului, înainte de trecerea electronului pe noua orbită și energia sa după tranziție. Electronul poate trece de pe o orbită dată pe o altă orbită, care diferă de cea dată printr-o valoare perfect determinată a energiei.

Cum trebuie explicată existența unui ansamblu determinat de orbite „permise"? De ce nu poate electronul să treacă de pe o orbită dată pe o alta, infinit apropiată de cea inițială? De ce din infinitatea de orbite posibile, electronul se poate învîrti numai pe unele, care formează un șir discret?

Un răspuns la această întrebare a fost dat de teoria lui Louis de Broglie, propusă în 1923—1924. De Broglie a presupus că mișcarea particulei este legată de un anumit proces ondulatoriu — „undele de materie". Electronul se poate învîrti numai pe o orbită cuprinzînd un număr întreg de „unde de materie". Astfel a fost creată teoria mișcării particulelor subordonată legilor mișcării undelor. Mecanica în care legea de mișcare a particulelor este legea de propagare a undelor a căpătat denumirea de mecanică ondulatorie.

În 1925, Erwin Schrödinger a dedus o ecuație care descrie procesul ondulatoriu și permite să se calculeze poziția electronului la fiecare moment dat, precum și energia lui. În mecanica clasică, ecuațiile de mișcare joacă un rol similar. Ecuația lui Schrödinger se deosebește de ecuațiile de mișcare clasice prin faptul că aici este funcție de coordonate și de timp o anumită mărime oscilatorie, numită funcție de undă. În multe probleme ale me-

canicii, ale acusticii şi ale electrodinamici se folosesc ecuaţii, în care pentru valori date ale coordonatelor şi ale timpului putem determina amplitudinea oscilaţiilor apei, aerului, ale unei coarde, intensitatea unui cîmp etc. Astfel de ecuaţii se numesc ecuaţii de undă.

Rezolvînd ecuaţia de undă a lui Schrödinger, căpătăm un şir discret de valori ale energiei atomului, corespunzătoare orbitelor determinate de Bohr pentru electroni, şi aflăm valorile funcţiei de undă, care indică starea atomului în fiecare moment. Care este natura funcţiei de undă? Unii fizicieni, între care şi însuşi Schrödinger, şi-au închipuit iniţial că mişcarea electronului ar fi rezultatul unui proces ondulatoriu, al oscilaţiilor unui anumit mediu şi că electronul, ca atare, nu ar fi altceva decît o deformaţie în deplasare a unui mediu continuu. După cum s-a constatat însă ulterior, funcţia de undă nu este măsura deplasării sau a deformării unui mediu continuu, ci ceva cu totul diferit. Max Born a emis ipoteza că funcţia de undă, care variază în timp şi în spaţiu după o lege anumită, este măsura *probabilităţii* ca electronul să se afle într-un punct dat, la un moment dat. Pătratul modulului funcţiei de undă măsoară probabilitatea ca electronul să se găsească într-un punct dat, la un moment dat.

Dacă funcţia de undă defineşte numai probabilitatea de a întîlni electronul, putem oare să-i indicăm exact poziţia şi viteza la fiecare moment?

În 1926, Werner Heisenberg a arătat că determinarea poziţiei electronului şi determinarea vitezei sale sînt legate printr-o relaţie sui-generis. Cu cît ne apropiem mai mult de determinarea precisă a poziţiei, cu atît sîntem mai departe de determinarea precisă a vitezei.

Heisenberg consideră anumite experimente imaginare, în care creşterea preciziei în determinarea coordonatelor unui electron în mişcare conduce la o micşorare a preciziei în determinarea vitezei sale. De exemplu, lăsăm să treacă un electron printr-o deschidere a unei diafragme. Cu cît deschiderea este mai îngustă, cu atît putem determina mai precis coordonatele electronului, în momentul cînd el trece prin diafragmă. Dar cu cît deschiderea este mai îngustă, cu atît marginile ei acţionează mai puternic asupra vitezei electronului în momentul în care acesta trece prin diafragmă. Dacă

electronul ar semăna cu o particulă clasică, el ar putea trece printr-o deschidere îngustă, fără să-şi modifice viteza. Particula clasică este o particulă care posedă numai proprietăţi corpusculare, după cum şi unda clasică este o undă lipsită de proprietăţi corpusculare. O particulă neclasică are proprietăţi ondulatorii, respectiv o undă neclasică, proprietăţi corpusculare. Dualismul undă-corpuscul este deosebirea fundamentală dintre obiectele neclasice şi cele clasice.

La trecerea prin deschiderea îngustă a unei diafragme, proprietăţile ondulatorii ale electronului se manifestă prin modificarea vitezei sale. În adevăr, mişcarea electronului corespunde unui anumit proces ondulatoriu, undelor de Broglie. Aceste unde trec prin diafragmă. Trecînd printr-o deschidere a cărei dimensiune este de acelaşi ordin de mărime cu lungimea de undă, frontul de undă îşi schimbă direcţia. Acest fenomen se numeşte difracţie. Difracţia depinde de lărgimea deschiderii: cu cît aceasta este mai îngustă, cu atît difracţia este mai mare. Dacă, trecînd printr-o deschidere, undele de materie, sînt difractate, atunci, evident, o dată cu schimbarea orientării undelor variază şi viteza electronului. Aşadar, cu cît determinăm mai precis poziţia electronului în momentul trecerii prin diafragmă, cu atît variază mai mult viteza electronului cu ocazia acestei treceri, cu atît este mai mică precizia cu care ea poate fi determinată.

Dacă am dori să modificăm într-o măsură mai mică viteza electronului, va trebui să lărgim deschiderea diafragmei, deci să micşorăm precizia determinării coordonatelor electronului în momentul trecerii lui prin diafragmă. Aparatul care înregistrează viteza electronului poate fi o diafragmă mobilă. Modificarea deschiderii ei ne va permite să determinăm viteza electronului. Cu cît diafragma este mai mobilă, cu atît va fi mai precisă determinarea vitezei şi cu atît va fi mai puţin precisă determinarea coordonatelor electronului, în momentul trecerii prin diafragmă.

Într-o relaţie analogă se află şi determinarea *energiei* electronului, şi determinarea timpului, la momentul cînd se măsoară această energie. Cu cît energia electronului este determinată mai precis la un moment dat, cu atît mai puţin precis poate fi determinat momentul respectiv.

Experimentul imaginar descris mai sus, cu o diafragmă fixă şi una mobilă, arată că între determinarea vitezei electronului într-un anumit punct şi determinarea acestui punct (adică a poziţiei electronului) există o *relaţie de impreciziune:* cu cît este determinată mai precis una din variabilele conjugate, cu atît mai puţin precis este determinată cealaltă. Putem găsi experimente imaginare care arată că o relaţie de impreciziune asemănătoare există între o altă pereche de variabile conjugate: energia şi timpul.

Relaţia de impreciziune, sau principiul *nedeterminării* al lui Heisenberg, se leagă de îmbinarea proprietăţilor corpusculare şi ondulatorii ale electronului, adică de trăsătura cea mai caracteristică a atomisticii actuale.

Vom mai consacra cîteva cuvinte principiului nedeterminării, dar pentru simplificare nu ne vom ocupa de determinarea energiei şi a timpului. Ori de cîte ori este vorba despre o variaţie a coordonatelor, adică a poziţiei electronului şi a vitezei sale, vom avea în vedere numai faptul că relaţii de impreciziune analoge sînt valabile şi pentru timp şi energie. Totodată, menţionăm că atunci cînd măsurăm ambele perechi de variabile conjugate, relaţiile de impreciziune pot fi aplicabile nu numai electronilor, ci şi altor particule elementare.

Exemplele care ilustrează principiul de nedeterminare al lui Heisenberg pot da impresia că este vorba aici numai de o influenţă a experimentului, pe care îl face omul, asupra realităţii obiective. Această idee despre caracterul subiectiv al cunoaşterii fizice seamănă cu ideea întîlnită uneori despre teoria relativităţii, conform căreia aceasta ar fi o imagine a activităţii observatorilor care-şi verifică ceasornicele. În realitate, mecanica cuantică şi teoria relativităţii sînt descrierea unor procese obiective, care au existat cu miliarde de ani înainte de apariţia ceasornicelor, a diafragmelor şi a oricăror altor instrumente.

Îmbinarea proprietăţilor ondulatorii şi corpusculare ale electronului face ca răspunsul la întrebarea referitoare la poziţia sau la viteza electronului să fie legat de natura interacţiunilor în cadrul cărora se determină aceste variabile. Putem da doar reprezentarea cea mai aproximativă şi simplificată despre situaţia complicată creată în aceste interacţiuni. Expresia „particula are

coordonate determinate, se află într-un loc determinat, într-un punct determinat" are sens nu numai în cazul prezenței unui *sistem de referință*, ci și în cazul prezenței unui corp cu care particula *interacționează* în punctul respectiv. Corpul considerat poate fi denumit „obiect clasic". Un obiect clasic nu are simultan proprietăți ondulatorii și corpusculare, poziția sa nu este determinată de unde de probabilitate, ea este determinată și certă în fiecare punct și la fiecare moment. Ca exemplu pentru un astfel de corp poate servi diafragma fixă cu un orificiu, amintită mai sus, prin care trece un electron. Cu ajutorul unui astfel de obiect clasic, putem fixa poziția electronului. Putem verifica dacă electronul trece prin orice punct al traiectoriei. Să așezăm diafragma în așa fel, încît traiectoria electronului să treacă prin deschidere. Cînd electronul trece prin această deschidere, putem fixa cu certitudine prezența sa pe traiectorie într-un punct dat. Pentru a înregistra viteza într-un punct oarecare, trebuie să așezăm în calea electronului, în acest punct, un alt obiect clasic, de exemplu o diafragmă mobilă. Relevăm încă o dată că este vorba, în fond, nu despre o verificare subiectivă, ci despre un proces obiectiv, independent de verificare. Esența problemei este următoarea: din punctul de vedere al mecanicii cuantice, mișcarea este o interacțiune a corpului cu corpurile înconjurătoare. După cum în teoria relativității, noțiunea de mișcare își pierde sensul în lipsa unui corp de referință, tot astfel în mecanica cuantică mișcarea își pierde sensul fără „un corp de interacțiune". O particulă elementară (un corp care îmbină proprietăți corpusculare cu proprietăți ondulatorii) interacționează cu alte corpuri în așa fel încît, cu acest prilej, coordonatele și viteza ei variază. Dacă ea interacționează însă cu obiecte *clasice* putem determina cu orice precizie dorită fie coordonatele, fie viteza. Mărind precizia determinării coordonatelor, utilizăm un anumit obiect clasic (de exemplu, o diafragmă fixă cu fantă îngustă) și micșorăm atunci precizia determinării vitezei. În cazul de față, înțelegem prin obiect clasic un corp macroscopic care își modifică într-o măsură foarte mică poziția cu ocazia interacțiunii cu particula. Variația poziției acestui corp poate fi neglijată, adică putem considera că el se supune teoriei clasice. Cu ajutorul unui

astfel de corp putem determina poziția unui obiect neclasic, a unei particule elementare. Mărind precizia determinării vitezei, folosim un alt obiect clasic (să zicem o diafragmă mobilă) și micșorăm astfel precizia determinării coordonatelor particulei.

S-a stabilit că oscilațiile cîmpului electromagnetic sînt de asemenea oscilații ale unei probabilități de întîlnire, de astă dată cu un foton. Ecuațiile de undă care figurează în teoria luminii joacă pentru fotoni un rol analog cu cel pe care îi are ecuația lui Schrödinger pentru electron. După amplitudinea oscilațiilor intensității cîmpului electromagnetic ne putem face o idee asupra probabilității de a afla un foton într-un loc dat la un moment dat. Măsura probabilității aflării fotonului într-un punct dat la un moment dat este pătratul amplitudinii oscilațiilor electromagnetice în acest punct.

Așadar, în mecanica cuantică, căreia i se supune mișcarea electronilor și în electrodinamica cuantică, care descrie propagarea luminii, adică mișcarea fotonilor, nu mai putem vorbi despre stările unei particule, stări predeterminate într-un mod univoc și cu o precizie nelimitată de către condițiile inițiale și cîmpurile de forțe. Prin aceasta, tabloul lumii se îndepărtează de determinismul mecanic laplaceian. În teoriile statistice ale secolului al XIX-lea, figura probabilitatea rezultatelor macroscopice de masă ale unor procese elementare. Dar în spatele legilor statistice ale comportării ansamblelor mari, stăteau legile dinamice absolut certe ale mișcării particulelor individuale. Acum însă, determinismul laplaceian este mărginit *inferior*, iar în spatele legilor statistice ale mecanicii cuantice și ale electrodinamicii cuantice nu există nici un fel de legi dinamice. Legile statistice s-au dovedit a fi acum, nu legi *integrale* ale existenței, determinînd rezultatul de masă al stărilor locale ale particulelor, ci chiar legi locale, *diferențiale* care determină comportarea particulelor la fiecare moment și în fiecare punct.

Încercările de a pătrunde mai adînc natura legilor statistice care guvernează mișcarea particulelor elementare au condus la un rezultat surprinzător. În culisele scenei pe care se mișcă particulele elementare identice cu sine s-a descoperit o lume de procese nemecanice,

procese în care nu sînt aplicabile direct nici noţiunile mecanicii clasice şi, în general, nici o noţiune mecanică.

Caracterul proceselor nemecanice ultramicroscopice, cărora pare să le fie destinat, în noul tablou al lumii, rolul de procese elementare ale naturii, a fost pus în evidenţă întrucîtva între anii 1930 şi 1960, prin sintetizarea consecutivă a teoriei relativităţii cu mecanica cuantică. După ce Schrödinger a scris ecuaţia de undă, care defineşte mişcarea electronului, s-au făcut încercări de a modifica astfel această ecuaţie, încît ea să rămînă valabilă şi în cazul unor energii mari ale electronului. Aceste încercări au fost încununate pînă la urmă de succes. Ecuaţia de undă pentru electron, în care se ţine seama de relaţiile teoriei relativităţii şi care a stat la baza teoriei relativiste a electronului a fost propusă de către Dirac. Cînd electronul posedă o energie mare, cînd el se mişcă cu o viteză foarte mare, devine esenţială dependenţa de viteză a masei sale. Ecuaţia lui Dirac ţine seama de această dependenţă relativistă. În comparaţie cu ecuaţia lui Schrödinger, ea este mai generală, valabilă şi în cazul în care electronul se mişcă cu o viteză comparabilă cu viteza luminii.

Aici însă Dirac a întîmpinat dificultăţi esenţiale. În relaţia relativistă dintre impuls şi energie nu figurează energia E a electronului, ci pătratul (E^2) al acestei mărimi. De aceea, energia poate avea două valori, una pozitivă şi una negativă: ridicînd la pătrat numerele pozitive E şi numerele negative —E, căpătăm acelaşi rezultat. Ecuaţia lui Dirac are soluţii atît pentru valori pozitive ale energiei, cît şi pentru cele negative. Fiecărei soluţii a ecuaţiei lui Dirac îi corespund două valori egale în *modul*, ale energiei electronului E şi —E. Aşadar, ecuaţia lui Dirac indică posibilitatea unor valori negative ale energiei, pe lîngă cele pozitve. Însă energiile negative ale particulelor nu au semnificaţie fizică, ele sînt în contradicţie cu tot ce ştim despre lume. O astfel de particulă s-ar comporta cu totul paradoxal. Este suficient să spunem că, sub influenţa unei forţe, ea s-ar mişca în sens opus sensului forţei. Pentru a evita această ipoteză improbabilă despre energia electronului, Dirac a emis următoarea ipoteză: ecuaţia de undă relativistă nu descrie numai electronul, ci şi o altă

particulă, avînd aceeași masă ca și electronul, însă sarcina electrică de semn contrar. Electronul are sarcina negativă, iar dublura sa are sarcina pozitivă. Acest anti-electron a fost numit *pozitron*. Curînd, el a fost descoperit pe cale experimentală. S-a constatat că electronul și pozitronul se pot contopi, transformîndu-se în radiație electromagnetică: în doi sau în trei fotoni. La rîndul lor, fotonii se transformă în perechi electron-pozitron. Aceste transmutații ale particulelor elementare sînt larg răspîndite în natură, ele avînd loc nu numai cu perechile electron-pozitron și cu fotonii, ci și cu alte particule.

Așadar, în tabloul lumii a intrat o noțiune în care transformarea calitativă nu se reduce la o regrupare a părților componente, la o deplasare a unor particule de substanță mai mici, ci la distrugerea (aristotelicul *ftorá)* unei particule și apariția (aristotelicul *genesis)* alteia.

Transmutațiile particulelor elementare explică un număr foarte mare și mereu crescînd de fenomene ale microcosmosului. Interacțiunile particulelor elementare sînt legate de transmutații. Particulele în interacțiune emit și absorb cuante ale cîmpului (de exemplu, electronii, pozitronii și alte particule încărcate electric emit și absorb fotoni). Generarea și absorbția fotonilor se produc și în cazurile care nu există interacțiune între două particule încărcate. Electronul generează fotoni și îi absoarbe imediat. Această interacțiune a electronului cu fotonii pe care îi emite și îi absoarbe își aduce contribuția la energia electromagnetică a electronului. Pe lîngă energia care se datorește interacțiunii electronului cu alte particule încărcate electric, electronul posedă o energie „proprie", pe care o datorește fotonilor emiși și apoi absorbiți de el. Electronul este înconjurat de un nor de fotoni pe care îi emite și îi absoarbe. Înainte, existența fotonilor (adică a radiației electromagnetice) era pusă în legătură cu existența particulelor încărcate, care emit fotonii, și a altor particule, care îi absorb. Spațiul în care nu există astfel de interacțiuni între particulele încărcate era considerat liber de orice procese electromagnetice și, în acest sens, vid. Actuala teorie cuantică a cîmpului nu mai poate considera drept vid un spațiu în care nu există radiație electromagnetică

a unei particule, absorbită de o altă particulă. În prezent, acest spațiu este denumit „vidul" cîmpului electromagnetic. În teoria actuală a cîmpului există ideea proceselor de vid: apariția și dispariția, radiația și absorbția așa-numitelor particule virtuale, în lipsa unor particule cu existență îndelungată și care se mișcă pe distanțe relativ lungi (acestea din urmă sînt denumite cîteodată „reale", deși particulele virtuale nu sînt mai puțin reale). Interacțiunea unei particule „reale" cu una virtuală, adică cu vidul, a fost pusă în evidență experimental. Măsurătorile au arătat coincidența uimitoare dintre mărimile observate și cele calculate teoretic. Sub acest raport, actuala teorie cuantică a cîmpului a înregistrat succese remarcabile. Totodată însă, ea s-a lovit de dificultăți principiale foarte mari.

Electrodinamica cuantică a permis să se calculeze variațiile energiei electronului, determinate de interacțiunea electronului cu vidul. Dar luarea în considerare a interacțiunii electronului cu vidul conduce, în teoria actuală, la o energie proprie infinită a electronului. Acest rezultat este într-o contradicție netă cu întreaga sumă de reprezentări certe, verificate de experiment și de practică asupra proceselor fizice. Valoarea infinită a energiei proprii a electronului este simptomul cel mai grav și mai important al crizei actuale a teoriei cuantice a cîmpului. Poate că ea se va dovedi fatală pentru fundamentul ultim al imaginii mecanice asupra lumii: ideea mișcării continue a unor obiecte fizice identice cu sine. Începînd din secolul al XVII-lea, întreaga știință a naturii (indiferent dacă a fost sau nu redusă la reprezentări mecanice, dacă s-a înțeles prin mecanică mișcarea unor mase constante sau variabile, o mișcare cu o determinare mărginită sau nemărginită a poziției și a vitezei particulelor), a fost întotdeauna, în ansamblul ei, inseparabilă de imaginea mecanică cea mai simplă și mai generală: mișcarea unei particule identice cu sine. Acum criza amenință tocmai această imagine fundamentală. În capitolul XVIII vom insista asupra acestei amenințări.

Energia proprie infinită a electronului a apărut și în trecut. Chiar și în electrodinamica clasică, energia cîmpului electronului crește continuu o dată cu micșora-

rea dimensiunilor, adică o dată cu apropierea de centrul electronului, și tinde către infinit pentru un electron punctual. În actuala electrodinamică cuantică se presupune că electronul punctual radiază la distanțe oricît de apropiate și în termene oricît de scurte fotoni virtuali. Energia acestor fotoni este cu atît mai mare cu cît este mai scurtă perioada lor de viață și cu cît este deci mai scurtă distanța pe care o parcurg. Dacă drumul fotonilor virtuali nu atinge o lungime minimală, durata vieții lor poate lua valori infinit mici, iar energia lor valori infinit mari. Acesta este izvorul valorilor infinite ale energiei. Energia infinită este legată de distanța infinit mică la centrul electronului. Salvarea s-ar putea găsi în admiterea unor dimensiuni finite ale electronului. Această supoziție este însă incompatibilă cu teoria relativității. Fie electronul o mică sferă care nu constă din alte particule, ci umple total un anumit volum finit (să zicem, o regiune cu raza de 10^{-13} cm) și, corespunzător, perfect rigidă. Un impuls comunicat electronului îl face să se miște ca un corp perfect rigid. Aici va fi exclusă o deformație care să se transmită cu viteză finită de la un punct al suprafeței electronului la cel diametral opus. Așadar, la distanța de 10^{-13} cm vom avea o viteză infinită, deci în această regiune nu este valabilă condiția fundamentală a teoriei relativității, cea referitoare la viteza limită a semnalelor.

Avem de-a face cu o coliziune între concepția care admite dimensiuni finite ale particulelor elementare, pentru a evita valorile infinite ale energiei, și teoria relativității care exclude dimensiunile finite ale particulelor.

Această coliziune împiedică rezolvarea dificultății valorilor infinite ale energiei electronului. În general, electrodinamica cuantică actuală este nevoită să ocolească această dificultate, fără a o rezolva. Ea nu se poate baza pe o teorie necontradictorie, în care să figureze particule elementare cu extensiune finită sau care să elimine pe altă cale radicală valorile infinite ale energiei ce rezultă din interacțiunea particulei cu vidul. Determinînd energia suplimentară dependentă de această interacțiune, electrodinamica cuantică elimină pur și simplu mărimile infinite, le trece „la creditul" unei viitoare

teorii, care va putea justifica această eliminarea. Prognozele referitoare la natura viitoarei teorii au devenit o parte componentă esențială a gîndirii fizice contemporane. Ele sînt împletite în modul cel mai strîns cu metodele de calcul ale electrodinamicii cuanticei și conferă un colorit cu totul specific literaturii de fizică din zilele noastre.

Printre cele mai noi direcții din electrodinamica cuantică mai trebuie menționată o idee exprimată sub diverse forme de mulți oameni de știință în ultimii ani dinainte și în primii ani după 1950. Această idee constă în renunțarea la analiza diferențială, de la clipă la clipă și de la punct la punct a proceselor care se desfășoară în spații foarte mici și în intervale de timp foarte scurte. Cercetările din anii 1940—1960 au dus la concluzia că unele dificultăți ale electrodinamicii cuantice pot fi eliminate dacă renunțăm la analiza proceselor de interacțiune a electronului cu vidul de la o clipă la alta și de la un punct la altul. Trebuie să mai renunțăm la o astfel de analiză în cazul interacțiunii particulelor la distanțe apropiate și în intervale de timp scurte: la ciocnirea și la difuzia lor. Aceste acte de interacțiune în domenii spațio-temporale mici sînt însoțite de procese de transmutații extrem de complicate care împiedică delimitarea precisă a momentelor timpului ce se succed unul după altul și a stărilor consecutive ale particulei în interiorul unui astfel de domeniu spațio-temporal mic. Reprezentarea diferențială a proceselor ultramicroscopice este înlocuită prin reprezentarea integrală a unei anumite stări *dinaintea* ciocnirii particulelor și a stării rezultante de *după* ciocnire.

Această trecere la reprezentarea integrală nu este, bineînțeles, o revenire la reprezentarea aristotelică a mișcării din „ceva" în „ceva" fără delimitarea diferențială a elementelor consecutive infinit mici ale timpului și ale drumului parcurs. Această trecere nu este de loc o revenire la vreun *răspuns* pozitiv al științei antice. Dar ea este o nouă formă a întrebării pe care știința antică a lăsat-o moștenire secolelor următoare. Întrebarea nu este legată de concepția peripatetică integrală asupra Universului, ea se referă la microstructura lumii și a fost pusă într-o formă relativ explicită de atomistica antică.

Problema constă în justificarea raţională a *limitelor* reprezentării diferenţiale a mişcării. În căutarea unei astfel de justificări, electrodinamica cuantică şi teoria particulelor şi a cîmpurilor elementare ajung la noi concepţii care au prototipuri istorice străvechi. În această carte nu am aşteptat teoria fizică univocă, respectiv cea care să ţină seama de contururile preliminare ipotetice ale noilor reprezentări asupra lumii, ci am pornit de la ele în aprecierile istorice asupra ideilor ştiinţifice ale trecutului.

CAPITOLUL XVIII

PERSPECTIVE ŞI REZULTATE

Cînd am ales poziţiile de plecare pentru o apreciere istorică retrospectivă, am folosit „în credit" generalizări încă neapărute, referindu-ne la posibilitatea lor principială şi urmînd, în această privinţă, exemplul ştiinţei însăşi. Acum putem face unele observaţii mai concrete asupra acestor generalizări. În cazul de faţă, „mai concrete" înseamnă mai puţin certe, mai puţin univoce şi mai ipotetice. Cînd expunerea îmbrăţişează scheme notoriu neunivoce, ipotetice, ne serveşte ca justificare faptul că concluziile din domeniul istoriei ştiinţei pot să plece, nu de la scheme concrete, ci de la posibilitatea de principiu a unui tablou al lumii, în care mişcarea continuă, identică cu sine, nu va mai fi noţiunea fundamentală.

Vom începe cu unele încercări relativ clare şi dezvoltate de generalizare şi transformare a actualei teorii a particulelor elementare.

Am mai menţionat, în introducere, teoria unitară a particulelor elementare, propusă de Heisenberg. În această teorie particulele elementare de diverse specii sînt considerate ca stări ale unei materii unice. Materia unică acţionează asupra ei însăşi, interacţionează cu ea însăşi. Ca rezultat al acestei interacţiuni („autoacţiuni") are loc o excitare a materiei unice: formarea a diverse particule elementare. Heisenberg a scris o ecuaţie care descrie „autoacţiunea" materiei unice. Rezolvînd ecuaţia, el a obţinut spectrul maselor particulelor elementare,

generate în urma autoacțiunii. Spectrul acesta este apropiat de valorile empirice ale maselor unor particule elementare.

Așadar, în teoria lui Heisenberg, masele diverselor particule apar pentru prima oară, nu ca date inițiale, ci ca rezultate ale unor calcule teoretice. De aici se poate trage concluzia că masa particulei elementare este o noțiune derivată, este rezultatul unor procese complexe de autoacțiune, adică de acțiune a materiei unice asupra ei însăși.

Această autoacțiune poate, după cît se pare, să capete o semnificație fizică mai precisă și să fie reprezentată printr-un model fizic determinat, în legătură cu alte încercări de eliminare a valorilor infinite și de sintetizare necontradictorie a teoriei relativității și a teoriei cuantice.

Valorile infinite ale energiei pot fi eliminate, admițînd caracterul discret al spațiului și al timpului. Întîlnim această idee cînd studiem dezvoltarea științei în timpuri foarte îndepărtate. Ideea discontinuității spațiului și a timpului a apărut în știința antică și în cea medievală, precum și în epoca modernă. Pe la jumătatea secolului nostru, în anii 1940 și 1950, ideea discontinuității spațiului și a timpului a devenit o parte componentă a unui mare număr de noi concepții fizice, în special a concepțiilor propuse pentru eliminarea valorilor infinite ale energiei proprii a particulelor. Dacă există o distanță spațială minimă, atunci interacțiunile electronilor cu vidul sînt mărginite: fotonii virtuali, emiși de electroni, nu pot parcurge un drum mai mic decît această distanță minimă. După cum am mai spus, cu cît este mai mic parcursul fotonului emis și apoi absorbit, cu atît energia lui este mai mare. De aceea, mărginirea drumului parcurs la o valoare minimă înseamnă o mărginire a energiei fotonilor virtuali și, corespunzător, o mărginire a energiei proprii a electronului la o valoare finită. Totodată, bineînțeles, apare și un interval temporal minim — durata în cursul căreia fotonul emis se îndepărtează de electron la distanța minimă. Evident, timpul minim va fi egal cu distanța minimă, împărțită prin viteza luminii.

Ideea caracterului discret al spațiului a fost dezvoltată nu numai în fizică, ci și în geometrie. În capitolul XV am citat cuvintele lui Riemann consacrate infinității

și nemărginirii spațiului. După aceea ne-am ocupat de infinitul mic. În domenii foarte mici, putem întîlni, după părerea lui Riemann, relații geometrice care se deosebesc de relațiile geometrice din domeniile mari. Înaintăm în adîncul conexiunilor cauzale ale naturii, iar noțiunea de infinit mic exprimă această înaintare nemărginită. „Cunoașterea conexiunilor cauzale depinde în mod esențial de precizia cu care reușim să urmărim fenomenele în infinitul mic. Succesele în cunoașterea mecanismului lumii exterioare, înregistrate de-a lungul ultimelor secole, sînt determinate aproape exclusiv de precizia construcției care a devenit posibilă ca rezultat al descoperirii analizei infinitezimale, al aplicării noțiunilor elementare fundamentale introduse de Arhimede, Galilei și Newton și pe care le folosește fizica actuală"[1].

Trecînd în regiuni infinit mici, putem constata că, dincolo de o anumită mărime, distanțele nu mai sînt fracționabile. Riemann considera că această indivizibilitate, în caz că există, este o manifestare a proprietăților substanței reale, care umple spațiul și servește ca bază reprezentărilor spațiale.

Dacă există o celulă spațială indivizibilă ultimă, atunci numărul de celule intermediare dintre două celule va fi distanța naturală dintre ele. *Într-un spațiu discret există o metrică absolută.*

„Problema dacă ipotezele geometriei sînt valabile în infinitul mic este strîns legată de problema cauzei interne a apariției relațiilor metrice în spațiu. Această problemă face parte și ea, desigur, din domeniul teoriei spațiului, iar la cercetarea ei trebuie să ținem seama de observația făcută mai sus, anume că în cazul unei varietăți discrete, principiul relațiilor metrice este implicat în noțiunea însăși a acestei varietăți, pe cînd în cazul unei varietăți continue, el trebuie căutat în altă parte. De aici rezultă că ori realitatea care generează ideea de spațiu formează o varietate discretă, ori trebuie să încercăm de a explica apariția relațiilor metrice prin ceva exterior: prin forțele de conexiune care acționează asupra acestei realități"[2].

---

[1] B. Riemann, *Despre ipotezele care stau la baza geometriei*, în culegerea: „Ob osnovanii gheometrii" (Despre bazele geometriei), M., 1956, p. 323 (ed. rusă).

[2] B. Riemann, *op. cit.*, pp. 323—324.

Ce poate servi ca bază reală pentru discontinuitatea spațiului, ce procese fizice elimină posibilitatea de a măsura spațiul în unități mai mici decît un anumit domeniu minim?

Riemann nu a răspuns la această întrebare, el aștepta răspunsul din partea unor fapte noi, care nu pot fi explicate în cadrul concepțiilor clasice. „Aici, scrie el, stăm în pragul unui domeniu care aparține științei, anume fizicii, iar ziua de astăzi nu ne dă prilej de a trece acest prag"[1].

Ziua de astăzi, care a venit la peste o sută de ani după prelegerea lui Riemann, ne dă temei pentru încercarea preliminară, ipotetică de a răspunde la întrebarea pusă la Göttingen în 1854. În tabloul fizic actual al lumii întîlnim procese care limitează posibilitatea măsurării spațiului prin mișcarea unui punct material. Sînt procesele de transmutație în regiuni finite ale spațiului. Să ne imaginăm o celulă spațială de dimensiuni minimale, de ordinul a 10^{-13} cm. În ea a apărut o particulă elementară de o specie determinată. Apoi, după 10^{-24} s, această particulă a dispărut, transformîndu-se într-o particulă de alt tip. Acest proces de transmutație permite să distingem un interval temporal (10^{-24} s) de cel care îi urmează. El ne permite, de asemenea, să distingem o celulă spațială (10^{-13} cm) de alta. Bineînțeles, procesul de transmutație descris ne permite totodată să distingem o celulă spațio-temporală de una vecină. Dar ne permite el oare să deosebim unul de altul punctele spațio-temporale *în interiorul* celulei spațio-temporale, cu ajutorul unei particule în mișcare? Putem distinge partea din dreapta a unei celule spațiale de cea din stînga, dar nu putem să distingem cu ajutorul unei particule în mișcare jumătatea din dreapta a unei celule spațiale de jumătatea ei din stînga. Nu găsim o particulă care să se miște din jumătatea dreaptă a celulei spațiale în cea stîngă. De asemenea, nu putem distinge prima jumătate a unui interval temporal de ordinul a 10^{-24} s, de a doua jumătate, cu ajutorul unei particule care să se afle în jumătatea dreaptă a unei celule spațiale în prima jumătate a intervalului și în jumătatea stîngă a celulei spațiale, în a doua jumătate a intervalului de timp. Într-un cuvînt, există celule cvadridimensionale, înăuntrul cărora nu

[1] B. Riemann, *op. cit.*, p. 324.

există linii de univers. Linia de univers apare ca un lanț de celule cvadridimensionale. Evenimentele elementare (evenimente care nu pot fi reprezentate ca fiind constituite din altele „mai elementare") sînt reprezentate de transmutația în domenii spațiale de ordinul a 10^{-13} cm, care se produc în cursul unui timp de ordinul a 10^{-24} s. Mai departe, putem considera regenerarea particulei într-o celulă vecină drept *deplasare* a unei particule identice cu sine la distanța de 10^{-13} cm, în timp de 10^{-24} s, adică drept mișcare a particulei cu o viteză egală cu viteza luminii.

Aici este cazul să reamintim „izotahia" epicuriană, — ideea unei mișcări macroscopice, formată din „cineme", mișcări microscopice cu o viteză constantă, foarte mare, dar finită. După cum ținem minte, Epicur considera că este perceptibil senzorial numai rezultatul macroscopic al cinemelor, al deplasărilor elementare. Versurile lui Lucrețiu despre turma din depărtare descriu viteza macroscopică (arbitrară, dar nu mai mare decît viteza „cimenelor"), ca rezultat al asimetriei deplasărilor elementare.

Ne amintim și de ideea despre mișcare, ca rezultat al unor transformări calitative, exprimată în rîndurile citate în capitolul II, din Alexandru din Afrodisia, despre părțile indivizibile ale spațiului, ale timpului și mișcării. Analogia este aici destul de neclară, pentru că sînt comparate intuiții destul de confuze ale unor gînditori antici, transmise într-un mod nu prea sigur de alții și neclare prin esența lor, cu construcții actuale extrem de ipotetice. Ea nu este însă lipsită de interes. Nu este exclus ca viitoarea teorie a particulelor elementare să poată opera cu analogi contemporani ai „cinemelor" lui Epicur[1].

---

[1] Pentru a clarifica printr-un model ipotetic convențional posibilitatea principială a unor noțiuni moderne, analoge cu izotahia lui Epicur, vom reveni la regenerarea unei particule în celule spațio—temporale de ordinul a 10^{-13} cm și a 10^{-24} s. Considerînd astfel de regenerări ca deplasări ale particulei, ca un mers la întîmplare al acesteia, ajungem la noțiunile de traiectorie microscopică și macroscopică. Mersul la întîmplare adică deplasările de cîte 10^{-13} cm în decurs de 10^{-24} s (cu alte cuvinte, deplasări cu viteza luminii), formează traiectoria microscopică. Traiectoria macroscopică este rezultatul unui mare număr de astfel de deplasări. Dacă particula se deplasează cu aceeași probabilitate în toate

Confruntarea căilor ipotetice viitoare ale teoriei particulelor elementare cu noțiunile aristotelice de *genesis* și *ftorá*, care pot fi fundamentul unei deplasări *(forá)*, precum și compararea acestor tendințe cu „izotahia" fac să devină mai clară o concluzie esențială pentru aprecierea istorică a trecutului, dedusă din analiza realizărilor contemporane și a dificultăților actuale ale teoriei fizice. Concluzia aceasta constă în următoarele. Caracterul elementar al deplasărilor unei particule identice cu sine nu mai poate fi considerat ca de la sine înțeles; continuitatea mișcării, a spațiului și a timpului nu mai pot fi considerate ca un fundament imuabil al științei (și de aceea nesusceptibil de o *analiză istorică*); mental (deocamdată numai mental) [este posibilă] reprezentarea asupra discontinuității mișcării, asupra mișcării ca rezultat al unor transmutații și, legat de aceasta, reprezentarea unei metrici absolute în regiuni spațio-temporale ultramicroscopice.

Însăși posibilitatea principială a unei astfel de interpretări a transmutațiilor și a deplasărilor elementare ale particulelor schimbă optica sub care privim istoria științei. Se lărgește sfera prototipurilor istorice ale științei contemporane, în rîndul lor intră noțiuni care au precedat istoric postulatul fundamental al explicării mecanice a naturii, în sensul ei cel mai general, adică ideea caracterului elementar al deplasărilor unui corp identic cu sine. După cum am mai spus în introducere, în aceste condiții se schimbă etalonul teoriei „normale". Reprezentările care se îndepărtează de acest postulat capătă pro-

---

părțile, atunci, ca rezultat al unui mare număr de mișcări întîmplătoare, ea va ajunge în apropierea locului ei de plecare: viteza ei macroscopică va fi egală cu zero. Dacă însă mersul la întîmplare este asimetric, atunci particula va avea pînă la urmă o anumită viteză macroscopică diferită de zero. Aceasta poate diferi, în funcție de asimetria probabilităților mersului la întîmplare, dar nu poate întrece viteza luminii. Pe traiectoria microscopică, numărul de celule spațiale parcurse formează o măsură naturală, absolută a lungimii segmentului parcurs. Avem aici o *metrică absolută*. Dimpotrivă, traiectoria macroscopică este continuă și nu are metrică absolută. De aici putem deduce conservarea relațiilor relativiste în lumea mișcărilor macroscopice ale unor particule identice cu sine. Bineînțeles, toate acestea ilustrează doar posibilitatea principială a unei apropieri convenționale între tendințele actuale și ideile trecutului.

totipuri istorice şi încetează de a fi „nebune", fără ca aceasta să le micşoreze cîtuşi de puţin caracterul radical.

Dacă continuitatea mişcării şi identitatea cu sine a corpului în mişcare încetează să mai fie un postulat de la sine înţeles şi devin susceptibile de o tratare istorică, atunci apare necesitatea delimitării pe care am mai făcut-o între: 1) mecanicismul specific al secolelor al XVII-lea — al XVIII-lea (adică reprezentarea *reductibilităţii* formelor complexe ale mişcării la deplasare) şi 2) *tabloul mecanic al lumii*, într-un sens mai general, adică reprezentarea despre legătura dintre formele complexe ale mişcării (care nu estompează ireductibilitatea şi specificul lor) şi deplasările unor particule identice cu sine. Cît timp caracterul elementar al deplasărilor era în afara oricărei suspiciuni şi părea de la sine înţeles, nu exista un motiv pentru interpretarea istorică a unei astfel de reprezentări şi pentru opunerea ei altor concepţii posibile. De aceea, se putea înţelege prin explicarea mecanică a naturii forma ei specifică, particulară secolelor al XVII-lea — al XVIII-lea: mecanicismul. Acum însă, cînd a apărut posibilitatea de a considera mişcarea particulei ca o noţiune derivată faţă de transmutaţii, putem vorbi nu numai despre mărginirea istorică a mecanicismului şi nu numai despre mărginirea istorică a mecanicii clasice (pusă în evidenţă de limitele generale ale tabloului clasic al lumii), ci şi despre mărginirea istorică a reprezentării mecanice în accepţia sa cea mai largă.

Poate că se va dovedi tranzitorie pe plan istoric reprezentarea asupra mişcării continue a unor particule identice cu sine, ca noţiune generală, cea mai simplă şi ultimă a ştiinţei. Este vorba despre o deplasare a particulelor la care se reduc sau nu se reduc formele de mişcare complexe, despre particule care posedă sau nu posedă o masă constantă, despre particule a căror poziţie şi a căror viteză la fiecare moment sînt determinate sau nedeterminate. Problema nu se pune acum dacă legile fizicii, ale chimiei şi ale biologiei se reduc sau nu la legile mecanicii; această problemă a fost rezolvată în secolul al XIX-lea. Problema nu constă acum nici măcar în natura acestor legi (teoria relativităţii a arătat că ele sînt mai complicate decît legile newtoniene) şi nici în precizia cu care guvernează deplasarea unei particule

(răspunsul a fost dat de mecanica cuantică); problema constă în deplasarea însăşi a particulelor: se pune la îndoială caracterul ei elementar.

Ireductibilitatea formelor complexe ale mişcării la deplasări nu inspiră astfel de suspiciuni. Ea nu contrazice reprezentarea despre deplasările particulelor ca imagine de bază în tabloul lumii. Conţinutul limbajului omenesc nu se reduce (cel puţin în majoritatea cazurilor) la procese acustice de mişcare oscilatorie a unor particule de aer şi nu am explicat conţinutul său după ce am descris toate deplasările particulelor. Pînă şi funcţionarea maşinii cu vapori nu poate fi explicată numai prin mecanica moleculelor, fără a recurge la noţiuni macroscopice. Totodată însă, fiecare sunet este vibraţia unor particule şi fiecare ciclu termodinamic este inseparabil de deplasări ale moleculelor, deşi nu-şi găseşte în acestea explicaţia reală. Tabloul poziţiilor şi vitezelor particulelor (în ipoteza că aceste particule nu suferă transformări interne independente de mişcare) ar permite fiinţei atotştiutoare a lui Laplace să prevadă mersul proceselor termodinamice, al reacţiilor chimice, al dezvoltării biologice, deşi nu ar explica de loc, bunăoară, natura entropiei, a valenţei chimice sau a adaptabilităţii organismelor la condiţiile de trai. Teoria relativităţii ar sili fiinţa atotştiutoare să folosească alte ecuaţii de mişcare, însă dependenţa univocă a fiecărei stări ulterioare a Universului de starea iniţială ar fi zdruncinată. Această dependenţă este zdruncinată de mecanica cuantică, dar numai zdruncinată: baza tabloului lumii rămîne reprezentarea asupra mişcării unor particule ale căror poziţii şi viteze pot fi determinate separat cu gradul de precizie dorit. Cu preţul nedeterminării variabilelor conjugate, ştiinţa atotştiutoare ar putea să-şi raporteze cunoştinţele universale la lumea unor particule elementare care îmbină proprietăţi ondulatorii cu proprietăţi corpusculare. Ceea ce ar tulbura-o ar fi reprezentarea asupra transmutaţiilor, ca fundament al mişcării. După ce ar înregistra poziţiile şi vitezele particulelor, fiinţa atotştiutoare a lui Laplace nu ar afla nimic despre legile cele mai generale ale existenţei, dacă poziţiile, vitezele şi interacţiunile dinamice ale particulelor ar fi numai un rezultat macroscopic al transmutaţiilor.

Dacă lucrurile stau astfel, atunci se impune în mod firesc următoarea schemă de dezvoltare a explicației mecanice a lumii.

La Democrit, schimbarea stării lumilor depinde de deplasările atomilor. Acesta este începutul explicării naturii cu ajutorul deplasării ca noțiune fundamentală. De altfel, la Epicur, atomistica antică cuprindea ideea mărginirii legilor mecanice în lumea microscopică. Atomistica antică, în ansamblul ei, nu poate fi denumită un tablou mecanic al lumii decît în accepția cea mai largă a termenului. Atomistica antică știa numai că la baza fenomenelor naturii stă mișcarea continuă a unor particule indestructibile. Această reprezentare poate fi considerată prototipul generalizat al tuturor reprezentărilor ulterioare, mai concrete și mai clare. Însă atomistica antică, cel puțin la același Epicur, excludea o idee care depășea cadrul acestei reprezentări, chiar atît de generalizate: ideea de mișcare, ca rezultat al unor procese necinetice discrete.

După ce evul mediu a pregătit materialul empiric pentru știința epocii moderne, iar Renașterea a creat noțiunea de mișcare relativă într-un Univers infinit, lipsit de centru, a putut fi formulată o reprezentare mecanică mai clară asupra lumii. Ea a apărut în secolul al XVII-lea și a ajuns la o dezvoltare mai deplină în secolul al XVIII-lea. Această reprezentare tindea să înlocuiască tabloul multicolor al naturii prin schema deplasării unor particule lipsite de calitate. Prin tendințele sale dominante, știința naturii din secolele al VXII-lea — al XVIII-lea a fost nu numai mecanică, ci și mecanicistă. Mai departe, ea cuprindea legi determinate ale mișcării corpurilor — legile newtoniene ale mecanicii clasice — și era, în acest sens, clasică.

Particularitatea istorică concretă a tabloului lumii din secolele al XVII-lea — al XVIII-lea a constat în postulatele sale, considerate imuabile, dar ele au fost apoi înlocuite prin altele în secolele al XIX-lea și al XX-lea. Totodată, tabloul lumii nu a revenit, înapoi, nu s-a apropiat de reprezentările nestructurate și pur calitative ale antichității, ci, dimpotrivă, a devenit mai univoc și determinat sub raport cantitativ.

În secolul al XIX-lea au fost descoperite unele limite particulare ale tabloului lumii. Ele au determinat renun-

ţarea la mecanicism, însă reprezentarea asupra naturii a rămas mecanică, deoarece noţiunile elementare ale ştiinţelor naturii continuau să fie cele legate de deplasarea unor corpuri identice cu sine. Reprezentarea aceasta era mecanică-*clasică*, deoarece era vorba despre mase *constante* şi despre coordonatele şi vitezele lor, *determinate* la fiecare moment. În secolul al XX-lea au fost puse în evidenţă limitele generale ale reprezentării mecanice clasice asupra naturii. Noţiunea elementară a devenit deplasarea unor mase variabile, supusă legilor relativiste. Mai departe, s-a stabilit că deplasarea unei particule este legată de un proces ondulatoriu şi că această legătură împiedică determinarea simultană a variabilelor mecanice conjugate. Acum, explicaţia mecanică a naturii se loveşte de limite şi mai generale. Ea este mărginită la procesele macroscopice. Nu este vorba despre limitele mecanicii clasice, ci despre limitele oricărei mecanici, despre deducerea legilor ei din legi mai generale ale existenţei.

Pot fi oare deduse legile deplasării continue a unor particule identice cu sine din legile transmutaţiilor elementare? Mecanica a devenit baza unui tablou unitar al lumii, atunci cînd din deplasările unor corpuri calitativ invariabile şi indestructibile şi din interacţiunile lor dinamice au fost deduse variaţii calitative. Fizica secolelor al XVIII-lea — al XIX-lea a pus în legătură stările calitativ diferite ale corpurilor macroscopice cu mecanica moleculelor, iar în acest cadru, al doilea principiu al termodinamicii a arătat ireductibilitatea la mecanică a acestor stări. Chimia secolelor al XVIII-lea — al XIX-lea a explicat, la început speculativ, iar apoi cu ajutorul unor metode cantitative verificate experimental, colosala varietate a substanţelor compuse şi a reacţiilor chimice prin mişcarea atomilor, prin asocierea şi disocierea lor. Biologia secolului al XIX-lea a demonstrat că legile dezvoltării vieţii sînt inseparabile de sistemul cauzal general al explicării naturii prin mişcarea unor particule discrete şi, totodată, că ele sînt ireductibile la legile mai simple şi mai generale ale lumii anorganice. O dată cu recunoaşterea limitelor particulare din cadrul tabloului unitar al lumii, sarcina de a deduce legi nemecanice din cele mecanice a fost rezolvată, iar secolului al XX-lea i-a rămas să descopere limitele generale

ale tabloului clasic astfel construit, adică natura diferită, neclasică a mișcărilor particulelor. Dar acestea au continuat să rămînă noțiunea fundamentală a științelor naturii.

Acum se conturează problema inversă: deducerea (iarăși cu constatarea inevitabilă a ireductibilității) legilor mecanice ale deplasării continue a unor particule identice cu sine din legile nemecanice ale transmutațiilor elementare. Deocamdată, nu putem găsi o cale concretă univocă pentru transformarea transmutațiilor elementare în mișcarea unei particule identice cu sine. Regenerarea particulelor în celule spațio-temporale vecine, asimetria spațială a regenerărilor, relația dintre traiectoria microscopică și cea macroscopică a particulei au fost amintite toate, după cum am văzut, numai pentru a ilustra posibilitatea principială a acestei transformări a proceselor nemecanice microscopice în deplasări mecanice macroscopice. Această schemă poate fi înlocuită printr-o altă ilustrare ipotetică. În conformitate cu aceasta, în expunerea trecutului științei, ilustrațiile istorice concrete ale explicației mecanice a naturii au putut fi înlocuite prin alte ilustrări. Nici ipotezele, nici concretizările istorice nu participă acum la confruntarea celor mai noi tendințe ale științei cu trecutul ei. Sînt puse, față în față, postulatul fundamental cel mai general al mișcării continue a unui obiect identic cu sine și tendința de a deduce acest postulat din transmutații, tendință care rezultă din starea actuală a problemei identității particulelor, continuității mișcării lor și continuității spațiului în care se mișcă.

Se poate considera posibil ca această tendință să conducă la o teorie univocă, căreia viitorul îi aparține, că știința va reuși să arate cum se obțin din tranziții discrete (cu condiția nerespectării simetriei lor spațiale sau pe altă cale) mișcări continue sub raport macroscopic și accelerații în cîmpurile nucleare, electromagnetice, gravitaționale și de altă natură. Dacă vom considera că toate acestea sînt posibile, atunci se va înălța pe o nouă bază întregul sistem de legi dinamice cunoscute naturii, sistem ce determină pozițiile, vitezele și accelerațiile unor particule identice cu sine, adică legile care erau considerate pînă acum drept cele mai fundamentale legi ale naturii.

Trecerea la un tablou transmutaționist al lumii (mai exact — posibilitatea principială a unei astfel de treceri) înseamnă că, în principiu, legile menționate pot fi deduse din altele mai generale și mai fundamentale. Nici nu este cazul să relevăm profunzimea și caracterul radical al unei astfel de transformări a tabloului lumii. Dar în istoria științei, constatarea unor transformări radicale trebuie să fie însoțită de constatarea continuității, de stabilirea unei anumite idei permanente, care nu dispare. Dacă vom considera știința în dezvoltarea ei istorică drept o reprezentare tot mai generală, mai exactă și mai concretă a realității, va trebui să stabilim ce idee științifică a fost generalizată, precizată și concretizată de noul tablou științific al lumii; ce orientare unitară a gîndirii științifice, care se modifică pe plan istoric, leagă noul tablou de cele precedente. Existența acestei orientări este garantată de „identitatea cu sine" a științei. În acest caz, ce a suferit modificări în decursul progresului ideilor științifice, ce principiu general a fost precizat și concretizat în istoria științei și are actualmente șanse de a se întrupa în reprezentarea transmutațiilor elementare ca fundament al tabloului lumii?

Acest principiu este ideea de conexiune cauzală ce cuprinde Universul, o idee de la care a început istoria tabloului științific al lumii. Principiul cauzalității a fost ideea cea mai profundă, cîteodată implicită, dar întotdeauna ideea pivot a realizărilor pozitive orientate spre viitor și, mai mult, a căutărilor și a întrebărilor puse de știința antică. „Cauzele finale", dacă ținem seama de aceste căutări și întrebări, implicau un conținut cauzal, dar acesta nu era încă descifrat sub forma unor legi diferențiale, care să definească mișcarea unei particule de la un punct la altul și de la o clipă la alta. De altfel, am întîlnit în știința antică, într-o formă embrionară, toate variantele explicației cauzale a fenomenelor: atît dependența integrală a diverselor procese de starea Universului în ansamblul său, de apropierea acestuia de o configurație optimală, cît și cauzalitatea dinamică, precum și, poate, chiar anumite aluzii la reprezentările transmutaționiste.

Știința secolelor al XVII-lea — al XVIII-lea a luat ca punct de plecare determinismul mecanic [cunoscut

ceva mai tîrziu sub numele de determinism laplaceian]. Ştiinţa secolului al XIX-lea a cunoscut cauzalitatea statistică, în spatele căreia stau legi dinamice ignorate, dar în ultimă instanţă indestructibile ale proceselor elementare. Ideea de selecţie a subordonat cauzalităţii statistice transformarea speciilor. În teoria relativităţii, principiul cauzalităţii a luat forma unei conexiuni cauzale între evenimente despărţite prin intervale de tip temporal, adică a unei conexiuni care se realizează într-un timp finit, cu o viteză care nu depăşeşte viteza luminii. Mecanica cuantică îmbină cauzalitatea dinamică şi pe cea statistică în aşa fel, încît subordonarea faţă de legile dinamice a unei variabile (să zicem a poziţiei particulei) face ca cealaltă variabilă conjugată cu ea (viteza particulei) să ajungă sub puterea legilor statistice.

Acum întîlnim o nouă formă de conexiune cauzală. Mişcarea şi însăşi existenţa particulei identice cu sine depind de probabilitatea unor transmutaţii elementare. În spatele lumii particulelor identice cu sine, supusă legilor statistice, se află o lume de procese virtuale, în care domnesc legi cauzale mai cuprinzătoare, mai generale şi mai precise. Credem că este foarte probabil ca legile cauzale fundamentale în noul tablou al lumii să nu fie legile deplasării unor particule identice cu sine, ci legile transformărilor calitative din celulele unui spaţiu-timp discret. Poate că acestea sau poate alte legi se vor dovedi a fi legile „autoacţiunii" unei materii unice. Nu putem determina încă în mod sigur conţinutul concret al noului tablou al lumii de care s-a apropiat ştiinţa. Putem doar să presupunem că ştiinţa s-a apropiat efectiv de el şi putem face încercarea de a deduce din admisibilitatea principială a unui astfel de tablou anumite aprecieri retrospective. Dintre acestea poate face parte şi aprecierea retrospectivă a mecanicii cuantice. Principiul de nedeterminare — relaţia lui Heisenberg pentru variabile dinamice conjugate — se referă la mişcarea unor particule identice cu sine. În reprezentarea transmutaţionistă fundamentală nu există nici nedeterminare a variabilelor dinamice, nici variabilele dinamice înseşi. În culisele nedeterminării şi legilor statistice ale mecanicii cuantice nu se află anumite legi dinamice precise, ci legi ale unor transformări calitative. Dincolo de

acestea, la rîndul lor, stau alte legi, mai complicate. Reprezentările ipotetice ilustrează o concluzie absolut certă: dincolo de o formă dată a determinismului, istoriceşte mărginită, nu stă un „indeterminism", ci o formă mai generală şi mai precisă a determinismului. Cunoaşterea îmbrăţişează succesiv, istoric aceste forme, apropiindu-se infinit de determinismul absolut şi inepuizabil al naturii.

TABLA DE MATERII

Introducere		5
Capitolul I.	Geneza imaginii ştiinţifice a lumii	11
Capitolul II.	Atomistica lui Democrit, Epicur şi Lucreţiu	28
Capitolul III.	Ideile lui Aristotel în domeniul studiului naturii	47
Capitolul IV.	Ideile ştiinţifice ale elenismului, ale Romei şi ale evului mediu	68
Capitolul V.	Ideile ştiinţifice ale Renaşterii	99
Capitolul VI.	Heliocentrismul, principiul inerţiei şi teoria omogenităţii spaţiului	121
Capitolul VII.	Ştiinţa cartesiană	142
Capitolul VIII.	Dinamismul şi fundamentele mecanicii clasice	160
Capitolul IX.	Şcoala newtonian-linnéană	188
Capitolul X.	Determinismul mecanicist al secolului al XVIII-lea	199
Capitolul XI.	Principiul conservării energiei	230
Capitolul XII.	Principiul ireversibilităţii	245
Capitolul XIII.	Teoria evoluţionistă a lui Darwin	255
Capitolul XIV.	Legea periodicităţii şi atomistica actuală	268
Capitolul XV.	Cîmpul şi spaţiul	286
Capitolul XVI.	Teoria relativităţii	301
Capitolul XVII.	Mecanica cuantică	330
Capitolul XVIII.	Perspective şi rezultate	343

Redactor resp. de carte: A. Joltea
Tehnoredactor: M. Nasta

Dat la cules: 30. 07. 1962. Bun de tipar: 19. 11. 1962. Tiraj: 7 000+100 exemplare broșate. Hîrtie: semivelină satinată de 65 gr/m². Format: 54×84/16. Coli editoriale: 20,27. Coli tipar: 22,50. A.: 02349/1962. Clasificarea zecimală: pentru bibliotecile mari 5, pentru bibliotecile mici 5.

Tiparul executat sub comanda nr: 6412. la Întreprinderea Poligrafică Cluj, Str. Brassai 5—7, Cluj, R.P.R.

R.F.6

EDITURA ŞTIINŢIFICĂ

Lei 9,60